

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



DURABILIDAD DE LA MADERA DE SIETE ESPECIES TROPICALES
CON IMPORTANCIA COMERCIAL EN MÉXICO

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
CON ORIENTACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA

M.C. SERAFÍN COLÍN URIETA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



DURABILIDAD DE LA MADERA DE SIETE ESPECIES TROPICALES
CON IMPORTANCIA COMERCIAL EN MÉXICO

TESIS

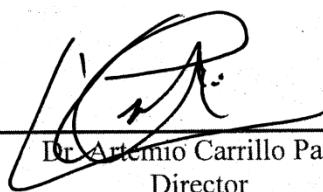
Como requisito parcial para obtener el grado de:

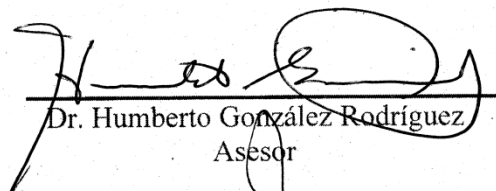
DOCTOR EN CIENCIAS
CON ORIENTACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

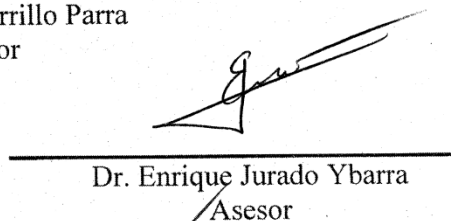
PRESENTA

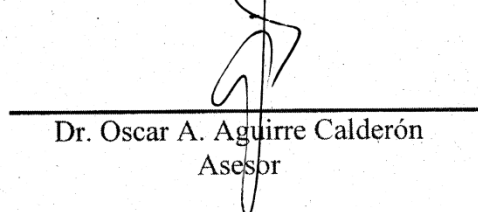
M.C. SERAFÍN COLÍN URIETA

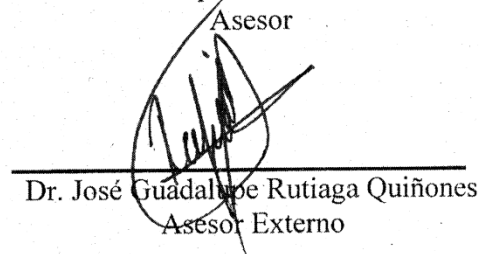
COMITÉ DE TESIS


Dr. Artemio Carrillo Parra
Director


Dr. Humberto González Rodríguez
Asesor


Dr. Enrique Jurado Ybarra
Asesor


Dr. Oscar A. Aguirre Calderón
Asesor


Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones
Asesor Externo

Declaro que la presente investigación es original y se desarrolló para obtener el título de Doctor en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales. Donde se utiliza información de otros autores, se otorgan los créditos correspondientes.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Serafín Colín Urieta', is positioned above a horizontal line.

M.C. Serafín Colín Urieta

Junio del 2015

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, en especial a mi Facultad de Ciencias Forestales.

Al Dr. Artemio Carrillo-Parra por aceptarme como su alumno del posgrado, brindarme sus conocimientos, su manera de trabajar, su paciencia, apoyo, dedicación y entusiasmo que fueron fundamentales para mi formación como investigador.

A mis asesores del comité de tesis, Dr. Humberto González Rodríguez, Dr. Enrique Jurado Ybarra y el Dr. Oscar A. Aguirre Calderón por sus atenciones y ayuda en todo momento.

A la Facultad de Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por sus facilidades otorgadas para las pruebas de laboratorio

El Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones por toda su disposición y orientación para que continuara mi formación académica.

Al Profesor Humberto Vargas Guzmán por su confianza y apoyo para que este posgrado pudiera realizarse.

Los técnicos de la Facultad Alejandro A., Cecilia Casas y Elsa González por toda la ayuda prestada.

Mis compañeros Marlene, Verónica, Paul Maginot, Rosalio, José Eduardo y Osvaldo por las jornadas de trabajo en laboratorio las cuales se hicieron más ligeras.

A todo el personal de la Facultad que siempre tuvo la disposición de ayudarme.

DEDICATORIA

A DIOS

Por ayudarme poniendo sus apreciables conductos que me permitieron realizar este proyecto de vida.

Mi esposa

Yunuen mi compañera de vida por su amor, paciencia y comprensión. A mis preciosos hijos María Fernanda y Axell.

Mis padres

Florencia y Serafín fuente de apoyo constante e incondicional en mi vida.

Mis suegros

Guadalupe y Medardo por todo su apoyo recibido.

Mis Hermanas

Mis carnalas Yury y Mary.

Mis compañeros del Grupo Buena Voluntad NA por su sonrisa amable y su mano amiga...

ÍNDICE

Estructura de la tesis	1
Resumen general	2
CAPÍTULO I.	
Introducción general.	4
CAPÍTULO II.	
Natural weathering of eight important timber trade Mexican species.	17
Abstract	18
Introduction	18
Material and Methods	20
Results	
Change in appearance	22
Colour change	24
Changes in values L*, a* and b*	26
Cracks formation	29
Discussion and Conclusions	31
References	32
CAPÍTULO III	
Evaluación de la durabilidad natural de la madera de ocho especies tropicales expuestas a la degradación de tres tipos de suelo en condiciones de laboratorio.	35
Resumen	36
Introducción	37
Materiales y Métodos	
Especies de madera, preparación de probetas y contenedores	38
Durabilidad natural de la madera en microcosmos terrestre	40
Resultados	
Pérdida de masa (MOE estático)	42
Pérdida de MOE estático	45
Efecto de los suelos	47
Pérdida de MOE-dinámico	48
Pérdida de masa (MOE dinámico)	50
Conclusiones	53
Literatura citada	54

CAPÍTULO IV

Durabilidad natural de la madera de ocho especies tropicales expuesta a tres sitios

Resumen	57
Introducción	58
Materiales y Métodos	
Sitios de exposición	59
Análisis de los suelos	60
Habilitación de las probetas	61
Instalación de las probetas	61
Clasificación del deterioro	62
Resultados y Discusión	
Evaluación visual y prueba de punzado	64
Clasificación de la durabilidad	67
Conclusiones	69
Literatura citada	69
Anexo	72

ESTRUCTURA DE LA TESIS

Capítulo I

Se muestra la importancia que representa el deterioro de la madera y sus repercusiones económicas causadas, la constitución básica de la madera (coníferas y latifoliadas), el deterioro que la madera puede sufrir por diferentes tipos de organismos, su durabilidad natural, los factores que ocasionan el envejecimiento en la superficie de la madera y una descripción general de las especies tropicales estudiadas.

Capítulo II

La madera de duramen de ocho especies tropicales es sometida a un proceso de envejecimiento natural a la intemperie siguiendo la norma EN 927-3, se registra mensualmente el cambio de coloración la aparición de grietas y cambio de apariencia hasta completar cinco meses.

Capítulo III

En condiciones controladas de laboratorio fueron seleccionados tres suelos de diferentes características en los cuales fueron instaladas probetas de las ocho especies tropicales siguiendo la norma EN 807, las cuales estuvieron sometidas a deterioro por parte de hongos de pudrición suave, se calculó el porcentaje de la pérdida del módulo de elasticidad (MOE) estático y dinámico y la pérdida de masa.

Capítulo IV

Utilizando la norma EN 252 se colocaron probetas de las ocho especies tropicales en tres sitios de la República Mexicana (Morelia, Michoacán; Linares, Nuevo León y Actopan, Veracruz) con diferentes tipos de suelo, clima y altitud, se clasificó la durabilidad de las maderas en los tres sitios.

RESUMEN GENERAL

La caracterización de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la madera de las especies tropicales son importantes debido a que permiten establecer criterios que sugieren el uso final en el que pueden ser utilizada la madera de las especies. En el presente trabajo se estudió la acción de los factores abióticos (luz solar, lluvia, humedad, viento) y bióticos sobre el envejecimiento de la madera. El cambio de color y presencia de rajaduras y cambio de apariencia en la madera puede ser evaluado para determinar el efecto de las condiciones ambientales. El experimento determinó el envejecimiento natural de acuerdo a la norma EN 927-3 de las especies *Cordia elaeagnoides*, *Dalbergia granadillo*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Hura poliandra*, *Swietenia humillis*, *Tabebuia donell-smithii*, *Tabebuia rosea*, de importancia comercial en México y *Fagus sylvatica* como testigo. La acción de los factores del medio ambiente se monitoreó durante cinco meses. Los resultados indican que las especies, *Cordia elaeagnoides* ($\Delta E=19.7$) y *Dalbergia granadillo* ($\Delta E= 15.9$) permanecieron con los valores más bajos del cambio de coloración. La durabilidad natural de la madera de las especies tropicales frente a los hongos causantes de la pudrición suave fue evaluada utilizando la norma EN 807. Se utilizaron tres clases de suelos provenientes de los municipios de Actopan-Veracruz (franco-arcillosa-arenoso), Morelia-Michoacán (arenoso) y Linares-Nuevo León (Arcillo limoso). Se midió la influencia que tuvo los tres tipos de suelo, al calcular las pérdidas de masa, MOE-estático y MOE-dinámico. Los resultados mostraron que existen diferencias por efecto del suelo utilizado. La mayor pérdida de masa, MOE-estático y MOE-dinámico fue ocasionado por los microorganismos presentes en el suelo de Actopan-Veracruz. Las especies *F. sylvatica* (48.6% masa, 71% MOE-estático y 81.4% MOE-dinámico) y *T. rosea* (36.8% masas, 57.5% MOE-estático y 64.7 MOE-dinámico) y *E. cyclocarpum* (37.9% masa, 75% MOE-estático y 65.3% MOE-dinámico) fueron las especies con la mayor pérdida de masa, MOE-estático y MOE-dinámico. Se confirma que el MOE es un mejor indicador de la durabilidad que la pérdida de masa. La madera de las especies estudiadas fue habilitada en forma de estacas (25 mm x 50 mm x 500 mm) que fueron instaladas en tres sitios (Veracruz, Michoacán y Nuevo León) con diferentes características climáticas, de altitud, biodiversidad y tipo de suelo. El deterioro de la madera ocasionada por la acción de los microorganismos fue evaluado después de 12 meses de acuerdo a la norma EN 252. Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.0001$) en los rangos de degradación entre las especies y sitios utilizados. Las especies *Dalbergia granadillo*, *Cordia*

elaegnoides, y *Swietenia humillis* se clasificaron como muy durables (rango 1), mientras que las especies *Enterolobium cyclocarpum* y *Hura polyandra* se clasificaron como poco durables (rango 4), mientras que las especies *Tabebuia donell-smithii* y *Tabebuia rosea* fueron clasificadas como no durables (rango 5), de acuerdo a lo contemplado en la Norma Europea EN 350-1 (1994).

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Definición

La palabra “durabilidad” está formada con raíces latinas y significa “cualidad de poder durar”. La disponibilidad de la madera es universal y la relativa facilidad de ser procesada en tamaño y formas, ha permitido al ser humano disponer de esta como material de construcciones en puentes, casas, barcos, herramientas, etc.

Degradar proviene del latín “*degradatio*” y significa “acción de hacer perder una cualidad o un estado característico” la acción de los organismos deriva en la ruptura de materiales lo que beneficia o perjudica económicamente al ser humano. Materiales de origen natural como la madera, pulpa de madera, cuero o textiles son susceptibles a deteriorarse por organismos biológicos. Sin embargo, materiales modernos como pinturas, plásticos, empastes, lubricantes, grasas, etc. pueden ser objeto de crecimiento microbial, aun en materiales inorgánicos como concreto, minerales, vidrio y metales pueden experimentar biodeterioro

El biodeterioro puede ser definido como la pérdida del valor económico de los materiales causado por los organismos biológicos. La durabilidad natural de la madera es algunas veces ambientalmente preferible frente a las maderas que son tratadas químicamente además que muchas de esas especies tienen una apariencia estética notable, esta combinación de belleza y durabilidad ha mantenido un constante interés en la utilización de especies tropicales lo que ha provocado la sobreexplotación de un grupo reducido de especies tropicales (Walker, 2006).

1.2. Historia de la durabilidad

El hombre desde hace muchos años observó que la madera de algunos árboles eran más resistentes al deterioro que otras, con ello inició la selección de especies madereras. Como ejemplo de lo anterior, se tiene a los aborígenes australianos que para el año 1500 A.C. utilizaban la madera *Brosimum rubescens* (Bloodwood) por ser resistente a las termitas y a la pudrición ocasionada por hongos. Theophrastos (371-287 A.C) por su parte elaboró una lista con especies de madera que consideraba como más durables. También se tiene el registro que los Mayas

construyeron en Guatemala para el año 700 D.C. un templo de madera resistente a las termitas (Unger et al. 2001).

La pudrición, la intemperización y la infestación de termitas propiciaron que se iniciara la búsqueda de procedimientos o estrategias para incrementar la durabilidad de la madera. Lo anterior llevó a que se recomendara el corte de árboles durante algunas épocas del año o que el aprovechamiento se realizara durante alguna fase de la luna, según lo señalaron Indian Rig-Veda (1000–400 A.C.); Hesiodos (700 A.C.) y Confucio (551–479 B.C.) citado por Unger et al. (2001). Al respecto se señala también que Napoleón en 1810 mandó construir una embarcación con madera de árboles derribados en invierno. En nuestros días con el acelerado ritmo de trabajo y el gran volumen de madera que se aprovecha en los bosques de todo el mundo, estas indicaciones son poco prácticas y se encuentran en desuso.

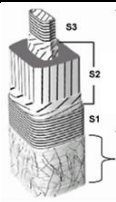
A inicios de la década de los 60's se empezó a utilizar el término “biodeterioro” a consecuencia de estudios en deterioro por organismos en materiales, procesos industriales y construcciones

1.3. Constituyentes de la madera

Las maderas comerciales se clasifican en dos categorías: coníferas y latifoliadas, ambas tienen diferentes tipos de células. Comparativamente las coníferas tienen una estructura más simple y uniforme, las células llamadas traqueidas le dan soporte y conducción a la madera mientras que las latifoliadas se componen de diferentes tipos de células; la conducción es llevada a cabo por células especializadas llamadas vasos, la función de soporte la realizan las células llamadas fibras. Las variadas formas en que las células están acomodadas generan que las maderas de latifoliadas tengan una apariencia estética altamente atractiva condición aprovechada para la construcción de muebles, instrumentos musicales y recubrimientos de alto valor agregado. La madera está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es un polímero derivado de la glucosa: β -D-glucopiranos. La glucosa es un número de monosacáridos que tienen la misma composición química $C_6H_{12}O_6$. Las hemicelulosas están constituidas por azúcares entre los que se encuentran las pentosas L-arabinosa y D-xilosa y por las hexosas D-glucosa, D-manosa y D-galactosa. El porcentaje de hemicelulosa en la madera varía entre especie, tipo de célula y parte de la pared celular. En coníferas la manosa es la más importante hemicelulosa

mientras que en latifoliadas es la xilosa. La lignina es un compuesto aromático que se estima se compone de 60 unidades de fenilpropano. La lignina presente en la madera de coníferas está constituida principalmente por unidades de guayacil propano mientras que las latifoliadas contienen los dos tipos de lignina; guayacilpropano y siringilpropano. Existe además una cantidad variable de compuestos conocidos como extraíbles cuya proporción (1-20%) varía dependiendo de la especie y lugar del árbol y un contenido pequeño (0.1-0.3%) de elementos inorgánicos (Ca, Mg, K) (Fengel y Wegener, 1984; Walker, 2006). La composición típica de coníferas y latifoliadas es dada en la Cuadro 1.

Cuadro 1 Composición química de Coníferas y Latifoliadas, estructura de célula de madera (Walker, 2006). Los valores representan la media, \pm desviación estándar.

Polímero	Coníferas (%)	Latifoliadas (%)	Célula de madera
Celulosa	42 \pm 2	44 \pm 2	
Hemicelulosa	27 \pm 2	28 \pm 5	
Lignina	28 \pm 3	24 \pm 4	
Extraíbles	3 \pm 2	4 \pm 3	

Las células de la madera tienen dos paredes celulares (Cuadro 1); la pared primaria está compuesta por microfibrillas de celulosa que están orientadas al azar son ricas en pectina y glicoproteínas. La pared celular secundaria consiste de tres capas S₁, S₂ y S₃ las cuales difieren en la orientación de las microfibrillas de celulosa y el contenido de lignina (Dinwoodie, 2000; Fengel y Wegener, 1984).

1.4. Resistencia al ataque de microorganismos

La estructura de la madera representan recursos nutrimentales para microorganismos, insectos y moluscos, debido a esto las especies han desarrollado mecanismos de defensa por ejemplo algunas especies producen compuestos fenólicos las cuales son depositadas en las células del duramen lo que permite retrasar el biodeterioro y aumentar la durabilidad natural de la madera. Por el contrario, existen maderas (pino, haya) que su biodeterioro es relativamente acelerado por lo que su madera debe ser sometida a tratamientos de preservación para alargar su vida en

servicio. Los componentes de la madera hemicelulosa, celulosa y lignina puede ser atacados por los microorganismos cuando la humedad esté por arriba de la saturación de la fibra (<30 CH).

1.5. Hongos que atacan la madera

La madera provee el substrato para el crecimiento y desarrollo de hongos. Dependiendo del tipo de pudrición, las hifas pueden localizarse en el lumen o dentro de la pared secundaria de la célula. Los hongos xilófagos son los organismos más importantes que deterioran la madera entre los que se encuentran, los basidiomicetes causantes de la pudrición café y blanca, otro importante grupo son los ascomicetos que ocasionan la pudrición suave y los que causan el manchado de la madera, existen además bacterias que se dan en ambientes extremadamente húmedos pero su deterioro se considera lento en comparación al de los hongos. La pérdida de masa y en consecuencia la pérdida mecánica son los principales problemas ocasionados, sin embargo, aunque la madera presente solo un manchado es suficiente para ocasionar una pérdida económica por su depreciación estética.

Hongo de pudrición suave (ascomicetes y deuteromicetes): degrada la celulosa presente las subcapas S_2 y S_1 de la pared celular dejando perforaciones en la pared celular. Los hongos de pudrición café (basidiomicetes), metabolizan la celulosa y hemicelulosa dejando grietas y un color marrón oscuro en la madera. Los hongos de pudrición blanca (basidiomicetes) metabolizan los tres principales componentes de la madera aclarando el color de la madera, se pueden distinguir dos de pudrición blanca, el primero se distingue zonas de pudrición de celulosa, hemicelulosa y lignina y el segundo donde selectivamente solo la lignina es degradada (Daniel, 2003; Nilsson et al., 1989). Los hongos que manchan la madera se caracterizan por metabolizar los azúcares presentes en las células parenquimatosas, a través de sus hifas y esporas de un color negro-azulado. Los hongos xilófagos representan los más importantes organismos que deterioran la madera que se traduce en cuantiosas pérdidas económicas (Dinwoodie, 2000; Eaton y Hale, 1993; Zabel y Morrell, 1992).

1.6. Durabilidad natural de la madera

El tiempo en el que una madera puede llegar a degradarse es diferente entre especies, esto se ha definido como durabilidad natural y se relaciona con el grado de resistencia que presenta una madera a ser degradada por ataque de microorganismos e insectos. Se tiene conocimiento que algunas especies tienen mayor durabilidad que otras además. Existe una diferencia de durabilidad entre el duramen y la albura que depende de la presencia y tipo de extraíbles, alimento disponible (azúcares, almidones), el arreglo anatómico de las células (tipo de punteadura) que forman una barrera física la cual impide o reduce la adsorción y circulación del agua y a su vez reprime el desarrollo de las hifas (Scheffer y Cowling, 1966; Taylor et al., 2003)

El tipo de extractivos parece ser que es la causa más común del tipo de durabilidad de las maderas (Hillis, 1987; Kraemer, 1958; Scheffer y Cowling, 1966; Taylor et al., 2003). La actividad biosida de algunos extractivos es debido a su actividad antioxidante lo que permite neutralizar los radicales libres de los hongos impidiendo en las primeras etapas el proceso de degradación (Schultz y Nicholas, 2000). La disminución de la durabilidad de la madera está relacionado con la desintoxicación biológica de los extraíbles (catálisis, oxidación o polimerización) y la lixiviación de los extractivos (Stirling y Morris, 2006). La durabilidad se incrementa en el límite entre la albura y el duramen y va disminuyendo hacia la medula. También se ha determinado que a través del tiempo la capacidad biosida en la madera del duramen ira disminuyendo. En forma general, la durabilidad dentro del árbol disminuirá con la altura del fuste estando entonces la madera de mayor durabilidad en la base del árbol (Zabel y Morrell, 1992).

Se han establecido pruebas controladas de laboratorio y en campo, las cuales clasifican la durabilidad natural de maderas de importancia comercial y la eficacia de productos que buscan prevenir o limitar el ataque causados por insectos y microorganismos en madera. Dentro de estas metodologías encontramos las normas europeas en las cuales se tiene la EN 350 la cual clasifica la durabilidad natural frente a los organismos que deterioran la madera. La madera puede sufrir cierta clase de biodeterioro dependiendo del entorno en el que se vaya a utilizar; estos ambientes son clasificados por la norma europea EN 335 la cual enumera cinco tipos de ambiente (1. Bajo

techo madera seca, 2. Bajo techo riego de adsorción de humedad, 3. A la intemperie, 4. En contacto con el suelo y 5. En agua salada). De acuerdo a la norma EN 350 se clasifica la durabilidad natural frente a los organismos que deterioran la madera. Las pruebas de laboratorio buscan evaluar en forma selectiva, controlada y reproducible la durabilidad de madera y madera tratada, la norma EN 807 es utilizada para determinar la durabilidad de la madera frente a los hongos ascomicetos y deuteromicetes (pudrición suave). Para el caso de madera y madera tratada que estará en contacto con el suelo (tipo 4), su durabilidad estará directamente relacionada con el tipo de suelo utilizado la cual se puede determinar siguiendo la Norma EN 252.

Existen diferentes métodos que evalúan la durabilidad de la madera, entre los que se encuentra la pérdida de masa, las muestras de madera se acondicionan a peso constante en un horno de secado después ser pesadas al inicio y final del experimento se calcula el porcentaje de pérdida de masa en base al peso inicial. Otro de los métodos es a través de la prueba del punzado, una prueba sencilla donde la punta de una navaja es insertada en un ángulo agudo en la madera para después ser doblada, la respuesta al flexionar la navaja y retirar la astilla de madera indicará de acuerdo a la facilidad, indicios de pudrición, por el contrario un sonido crujiente señala la presencia de madera sana. Existe una relación directa entre la pérdida de masa y módulo de elasticidad (MOE) de la madera deteriorada es valorada a través de una prueba de flexión en tres puntos donde se puede calcular su módulo de elasticidad (MOE) y relacionarlo con el porcentaje de disminución en relación con la madera sana. Otro de los métodos utilizados es mediante procesos dinámicos, que consiste en golpear la madera con un pequeño martillo induciendo ya sea una onda de esfuerzo o de sonido la cual es medida de acuerdo a la frecuencia con la que viajó la onda provocada es relacionada con la densidad y dimensiones de la muestra para calcular el módulo dinámico de elasticidad.

1.7. Envejecimiento de la madera

La madera expuesta a la intemperie inicia un proceso de cambios físicos, químicos y mecánicos conocida como intemperización (envejecimiento) ocasionado por la acción de factores bióticos (hongos, insectos) y abióticos (radiación UV, humedad relativa y viento) (Feist, 1982; Feist y Hon, 1984; Zabel y Morrell, 1992).

Dentro de la radiación solar, la luz UV ocasiona el mayor daño en la superficie de la madera ya que las moléculas de la lignina absorben este tipo de radiación ocasionando el envejecimiento de la madera a través del proceso de fotodegradación (Browne y Simonson, 1957). El proceso de fotodegradación provoca el cambio en el color de la madera hacia un color café y termine en un color gris blanquecino (Browne, 1960; Feist y Hon, 1984) otras maderas se oscurecen debido a que sus extractos emigran a la superficie. Estos cambios ocurren a profundidades de 0.05-2.5 mm (Feist y Hon, 1984). Después de la degradación de la lignina, la superficie queda expuesta a los microorganismos que degradan la madera (Highley, 1999). La acción del agua provoca la remoción de partículas superficiales iniciando un ciclo donde las capas internas sin degradar quedan expuestas. La densidad de la madera es un factor que determinará la cantidad de materia que será erosionada, conforme aumente la densidad de la madera la cantidad erosionada disminuirá (Williams et al., 2000).

La aparición de grietas en la superficie (2-3 mm de profundidad) es ocasionada como consecuencia de la lixiviación y el efecto plastificante del agua que propician el agrandamiento de las microgrietas derivadas de la falla por pérdida cohesiva estructural entre las microfibrillas y la pérdida de cohesión entre las capas. El área de los rayos medulares (superficie tangencial), es la más susceptible al intemperismo, originando rupturas que van desde la lámina media a las capas secundarias de la pared celular (Feist y Hon, 1984). Derivado de este deterioro, la madera pierde su valor estético y económico reduciendo su vida de servicio. Este tipo de deterioro ha generado investigaciones que buscan entender los factores causantes de la intemperización ofreciendo estrategias que busquen disminuir el deterioro en la madera expuesta.

1.8. Objetivos del estudio

1. Evaluar y clasificar el proceso de envejecimiento de las especies tropicales mexicanas de importancia económica *Cordia elaeagnoides* DC, *Dalbergia granadillo* Pittier, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *Hura polyandra* Baill, *Swietenia humillis* Zucc, *Tabebuia donell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC y un testigo (*Fagus sylvatica* L.) mediante la exposición a un proceso natural de envejecimiento
2. Estimar la durabilidad natural de las especies *Cordia elaeagnoides*, *Dalbergia granadillo* Pittier, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *Hura polyandra* Baill, *Swietenia humillis* Zucc, *Tabebuia donell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC, y un testigo *Fagus sylvatica* como resultado de la pérdida de masa, módulo de elasticidad estático y módulo de elasticidad dinámico provocado por los microorganismos de tres suelos
3. Analizar el efecto de tres condiciones de clima y suelo sobre la durabilidad natural de la madera de las especies tropicales *Cordia elaeagnoides* DC, *Dalbergia granadillo* Pittier, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *Hura polyandra* Baill, *Swietenia humillis* Zucc, *Tabebuia donell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC y *Fagus silvatica* L. Establecer una clasificación de durabilidad de las especies de madera estudiadas así como la clase de riesgo a la que pueden ser sometidas.

1.9. Descripción general de las especies tropicales estudiadas

***Fagus sylvatica* L.**

Familia: Fagaceae

Esta especie es conocida con el nombre comercial de “haya” pertenece a la familia *Fagaceae*. Es un árbol que llega a medir de 30-35 m de altura, es encontrada en altitudes superiores de 1000 m. El haya es una especie característica que se distribuye ampliamente en Europa central y occidental. La madera es usada en la manufactura de objetos (muebles, parquet para suelos), implementos, tableros, chapa, estructuras de construcción debido a sus buenas características de maquinado, secado, pegado, lijado, también es utilizada en la obtención de pulpa para papel (alto porcentaje de celulosa) y como combustible. La densidad de la madera es de 700kg/m³ (Wuehlisch, 2008)

***Cordia elaeagnoides* DC.**

Familia: Boraginaceae

Algunos de los nombres comunes con que se conoce son ocotillo; bocote, bojote, cueramo, gretaña, grisiño, guiri-xina, ocotillo, meco. El árbol puede llegar a medir hasta 20 m y su diámetro a la altura del pecho (DAP) de hasta 30 cm. Se distribuye exclusivamente en la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta Oaxaca, crece hasta una altitud de 500 m (Pennington y Sarukhán, 2005). La madera se utiliza especialmente para fabricar muebles y artesanías, así como para construcciones rurales ligeras.

***Dalbergia granadillo* Pittier.**

Familia: Leguminosae

Se conoce con los nombres comunes de zangalicua, granadillo, cocobolo mexicano (Mc.Vaugh, 1987), se desarrolla en los bosques tropicales caducifolios de México, desde Jalisco hasta Chiapas y también en Quintana Roo (Niembro, 1986). Por sus propiedades acústicas, es muy apreciada por los artesanos de Michoacán en la elaboración de instrumentos musicales, principalmente guitarras de estudio y de concierto (Guridi, 1996). También se usa para elaborar artesanías, mangos para cuchillos, castañuelas, teclas de marimba y decoración en general (Díaz y Huerta, 1986; Niembro, 1986)

***Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.**

Familia: Leguminosae (Mimosoideae)

Se encuentra ampliamente distribuida en la vertiente del Golfo desde el sur de Tamaulipas hasta la Península de Yucatán y en la vertiente del Pacífico desde Sinaloa hasta Chiapas. La especie crece a una altitud de 0 a 800 m. Pertenece a la familia *Mimosaceae*, es conocida con los nombres comunes de agucastle, ahucashle, cuanacastle, nacaste, nacastillo, nacastle, cascabel, guanacaste, cascabel, sonaja, cuanacastli, juana costa, nacastle, orejón, pich. El árbol mide de 20 a 30 m (ocasionalmente hasta 45 m) de altura, DAP y hasta 3 m. La madera es utilizada en la fabricación de artesanías, madera aserrada, lambrín, chapa y triplay, paneles, carretas, ruedas, carpintería, ebanistería, fabricación de canoas, embarcaciones ligeras, muebles, acabados de interiores y duelas (Guzman et al., 2010; Pennington y Sarukhán, 2005).

***Hura polyandra* Baill.**

Familia: Euphorbiaceae

Los nombres comunes que tiene la especie son: habillo, jabilla, haba de San Ignacio, llega a tener una altura de entre 7 a 25 m y diámetros de 0.30 a 1 m (DAP). Se distribuye en la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta la depresión Central y Norte de Chiapas, incluyendo la Cuenca del Balsas. En el Golfo, desde el sureste de San Luis Potosí hasta el norte de Quintana Roo. Forma parte de las selvas medianas subcaducifolias en ambas vertientes (Pennington y Sarukhán, 2005), se le encuentra en altitudes de 150 a 1,000 m. Se emplea en construcciones rurales, artesanías, muebles, decoración, chapa y contrachapados (Román et al., 2011).

***Swietenia humilis* Zucc.**

Familia: Meliaceae

Es conocida con los nombres comunes de zopilote, caobilla, gateado, caoba del pacífico. El árbol es de 10 a 25 m de altura y hasta 1 m de DAP, se distribuye desde el sur de Sinaloa hasta Chiapas. Se desarrolla desde una altitud de 50 hasta 1,000 m (Rzedowski, 1978). La madera se utiliza para fabricar muebles finos, gabinetes, cajas de piano, instrumentos musicales y científicos, chapa y madera terciada, mangos de herramienta, artículos torneados, y decoración de interiores (Niembro, 1986).

***Tabebuia donell-smithii* Rose.**

Familia: Bignoniaceae

Es conocida comúnmente con el nombre de primavera. El árbol crece de 7 a 13 m, crece en una altitud de 0 a 1000 m. Se distribuye en la vertiente del Pacífico, desde el norte de Sinaloa y Nayarit hasta Guerrero y en la porción del sur del estado de Chiapas. La madera es de color crema, amarillo o marrón claro, a menudo con listas o bandas y sin una transición definida entre la albura y el duramen, es utilizada para fabricar muebles, chapa decorativa, molduras, maderos estructurales y leña (Pennington y Sarukhán, 2005).

***Tabebuia rosea* (Bertol) DC.**

Familia: Bignoniaceae

Se conoce con los nombres comunes de amapola, maculís, palo de rosa, rosa morada, maculís, macuilis, cul, macuelis de bajo, hok'ab, kok'ab, li-ma-ña, yaxté, roble, roble blanco, amapa rosa, amapola, rosa morada, maculishuate, palo blanco, turalnocoque, cacahua, icotl, palo yugo, primavera, roble prieto y satanicua (Pennington & Sarukhán, 2005). La altura del árbol va de 15 a 25 m (hasta 30 m), con un DAP de hasta 1 m (Batis et al., 1999). Se distribuye en la vertiente del Golfo desde el sur de Tamaulipas y el norte de Puebla y Veracruz hasta el norte de Chiapas y sur de Campeche; en la vertiente del Pacífico desde Nayarit hasta Chiapas, a una altitud desde los 0 a 850 (1,450) m (Batis et al., 1999; Miranda, 1999; Niembro, 1986). La madera es empleada en la elaboración de instrumentos musicales, mangos para herramientas, fabricación de muebles y gabinetes, postes, decoración de interiores, remos, chapa para madera terciada, lambrín, triplay, parquet, culatas para armas de fuego y ebanistería (Méndez y Soihet, 1997).

1.10 Literatura citada

- Batis, A., Alcocer, I., Gual, S., Sánchez, C., and Vázquez-Yáñez, C. (1999). "Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación," Universidad Autónoma de México. Instituto de Ecología, México D.F.
- Browne, F. L. (1960). Wood siding left to weather naturally. *Southern Lumberman* **201**, 141-143.
- Browne, F. L., and Simonson, H. C. (1957). The penetration of light into wood. *Products Journal* **7**, 308-314.
- Daniel, G. (2003). Microview of wood under degradation by bacteria and fungi. In "Wood Deterioration and Preservation: advances in our changing world" (B. Goodell, D. D. Nicholas and T. P. Schultz, eds.), pp. 35-72. American Chemical Society, Washington.
- Díaz, G. V., and Huerta, C. J. (1986). Utilización de las maderas tropicales en México. . *Ciencia Forestal* **11**, 127-146.
- Dinwoodie, J. M. (2000). "Timber: Its nature and behaviour.," Spon Press, UK.
- Eaton, R. A., and Hale, M. D. C. (1993). "Wood, decay, pest and protection," Chapman & Hall, London, Great Britain.
- Feist, W. C. (1982). Weathering of wood in structural uses. In "Structural Use of Wood in Adverse Environments " (R. W. Meyer and R. M. Kellogg, eds.), pp. 156-178. Society for Wood Science and Technology, University of British Columbia.
- Feist, W. C., and Hon, N. D. (1984). Chemistry of Weathering and Protection. In "The Chemistry of solid wood" (Rowell and M. Roger, eds.). American Chemical Society, Washington, DC.
- Fengel, D., and Wegener, G. (1984). "Wood: chemistry, ultrastructure, reactions," De Gruyter, Berlin.
- Guridi, L. I. G. (1996). Caracterización macroscópica de cuatro especies tropicales mexicanas: Campincerán (*Dalbergia congestiflora* Pittier), Granadillo o Zangalicua (*D. granadillo* Pittier), Palo escrito (*D. palo-escrito* Rzedowski-Guridi) y Granadillo (*Latymiscium lasiocarpum* S.). *Ciencia y Tecnología de la Madera* **3**.
- Guzman, J. A. S., Talavera, F. J. F., Anda, R. R., Andrade, P. A. T., Ramírez, M. G. L., Quirarte, J. R., Waitkus, C., and Richter, H. G. (2010). "Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas," Amaya Ediciones, Guadalajara, Jalisco, México
- Highley, T. L. (1999). ""Biodeterioration of Wood" Forest Products Laboratory," Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI: U.S.
- Hillis, W. E. (1987). "Heatwood and tree exudates," Springer – Verlag, Berlin.
- Kraemer, K. G. (1958). "Compendio de la conservación de maderas," Santa Lucia, Santander, España.

- Mc.Vaugh, R. (1987). "Flora novo-galiciana (Leguminosae)," The University of Michigan. Press Ann arbor.
- Méndez, J. M., and Soihet, C. (1997). "Nota Técnica sobre Manejo de Semillas Forestales. No. 8."
- Miranda, F. (1999). Fichas Técnicas de Especies Forestales Estratégicas. *Gaceta de la Red Mexicana de Germoplasma Forestal* **3**.
- Niembro, A. (1986). "Árboles y Arbustos Útiles de México," Limusa, México, D.F.
- Nilsson, T., Daniel, G., Kirk, K., and Obst, J. (1989). Chemistry and microscopy of wood decay by some higher Ascomycetes. *Holzforschung* **43**, 11-18.
- Pennington, T. D., and Sarukhán, J. (2005). "Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies," UNAM, FCE, México D.F.
- Román, L., Mora, A., and Gallegos, A. (2011). Árboles tropicales de uso múltiple en la costa de Jalisco, México. In "Bosques y árboles del trópico mexicano: estructura, crecimiento y usos" (A. R. Rolando A., A. Mora S. y J. I. Valdez H. , ed.), pp. 81-106. Prometeo Eds, Guadalajara, Jal., México.
- Rzedowski, J. (1978). "Vegetación de México " LIMUSA, México D.F.
- Scheffer, T., and Cowling, E. (1966). Natural resistance of wood to microbial deterioration. *Annual Review of Phytopathology* **4**, 147-170.
- Schultz, T., and Nicholas, D. (2000). Naturally durable heartwood: evidence for a proposed dual defensive function of the extractives. *Phytochemistry* **54**, 47-52.
- Stirling, R., and Morris, P. (2006). The influence of extractives on western red cedar's equilibrium moisture content. Document No. IRG/WP 06-40331. *The International Research Group on Wood Preservation. Stockholm, Sweden*.
- Taylor, A. B., Gartner, and Morrell, J. (2003). Environmental effects on heartwood extractive content and their consequences for natural durability in Douglas-fir and Western Redcedar, Oregon State University, Corvallis, OR.
- Walker, J. C. F. (2006). "Primary Wood Processing Principles and Practice," Springer.
- Williams, R. S., Jordain, C., Daisey, G. I., and Springate, R. W. (2000). Wood properties affecting finisch service life. *Journal of Coatings Technology* **72**, 35-42.
- Wuehlisch, G. V. (2008). "EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European beech (*Fagus sylvatica*)," Rome, Italy.
- Zabel, R., and Morrell, J. J. (1992). "Wood microbiology. Decay and its prevention," Academic Press, Inc, San Diego, CA.

CAPÍTULO II

NATURAL WEATHERING OF EIGHT IMPORTANT TIMBER TRADE MEXICAN SPECIES

Colín-Urieta, S^{1*}, Carrillo-Parra^{1*}, A. Rutiaga, J.G², González-Rodríguez, H¹, Jurado-Ybarra, E¹. Ngangyo Heya Maginot³ Aguirre-Calderón, O.A.¹

1 Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Facultad de Ciencias Forestales, Carr. NaCl. No. 85, Km 145. Apartado Postal 41. C.P. 67700. Linares, Nuevo León, México

2 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Apartado Postal 580, C.P. 58000. Morelia, Michoacán, México

3 Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Facultad de Ciencias Biológicas, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66451, México.

* Corresponding Author

Email: serafinscu@hotmail.com

Tel.: +4432370695

Publicación:

International Journal of Agricultural Policy and Research Vol.3 (1), pp. 29-38, January 2015

ISSN 2350-1561

ABSTRACT

Wood exposed to conditions such as sunlight and rain undergoes a phenomenon known as weathering. Colour change and cracks formation in the wood can be evaluated in order to determine the effect of environmental conditions. This study determined the natural weathering of the important trade timber species in Mexico *Cordia elaeagnoides*, *Dalbergia granadillo*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Hura polyandra*, *Swietenia humillis*, *Tabebuia donell-smithii*, *Tabebuia rosea* and *Fagus sylvatica* as control. The procedure was performed according to EN 927-3. The action of environmental factors was monitored during five months with changes in appearance and colour and cracking formation also determined. The results indicated that *Cordia elaeagnoides* ($\Delta E 19.7$) and *Dalbergia granadillo* ($\Delta E 15.9$) showed the lowest values in colour change.

Key words: Wood, tropical species, changes in appearance, Mexico, environmental conditions.

INTRODUCTION

Wood production in México reached 5.9 million m³ (roll cubic meters) in the year 2012. Of this, more than 4% corresponded to tropical common and precious wood species Semarnat, (2013); national production re-stock on 30% of the country's consumption, the rest is covered by imports; tropical woods represent 0.6% of imports (Financiera Rural, 2009). Chapela (2012) notes that only a minority of tropical species has been widely used and many species have been partially used thus providing a great research area in order to determine the appropriate use of other tropical species for industrial purposes. The imports of furniture and wood components of Mexico amounted to US\$ 263 million in 2011 (ITTO, 2012). Tropical hardwoods have many applications, all of them in the segments of higher value. The main uses are in fine furniture, mouldings, doors, windows, frames as well as the construction of musical instruments of high quality, interior decoration (parquet, plank, covers), wall coverings, columns and other surfaces. Wood veneer has multiple applications such as structures, economic wood or metal furniture coating. Woods have great physical, mechanical and decorative qualities. However, wood exposed to biotic and abiotic factors lose its original qualities because of its organic nature (Sell and Feist, 1986; Zabell and Morell, 1992). The changes in colour (from its original condition to gray) are mainly due to solar radiation (ultraviolet, visible and infrared light) (George et al.,

2005). The main chemical components of wood surface shows a transformation with the affected lignin producing carbonyl and carboxyl chromophoric compounds which results in the surface' colour transformation (Deka et al., 2008; Ghost et al., 2009). During weathering, extractives are moved toward the surface by water where they are partially oxidized (Lavoie and Stevanovic 2006). The fine surface of wood is also transformed by the formation of cracks and wobbling caused by the absorption and loss of moisture resulting in swelling and shrinkage (Sell and Feist, 1986; Williams and Feist, 1993). Natural weathering of wood is gradual and significant variation exists between species due to differences in their chemical and density properties (William et al., 1990). The change in colour of wood exposed to sun and rains is influenced by the kind of extractives present in the cell wall (Pandey, 2005).

Schulte et al. (2004) while analyzing the effects of weathering on modified wood of *Pinus sylvestris* using untreated wood as control concluded that modified and unmodified wood are different. Hirche (2009) after 18 months of exposition of wood to natural weathering in *Pinus sylvestris* L. established a pattern of the colour change in wood according to the position in which the wood was exposed. Schnabel et al. (2009) studied the variation in the colour of *Abies alba* and *Larix decidua* wood in two different localities and concluded that changes in colour are different between sites and regression analysis is a suitable method for modeling the effects. In another way Valverde and Moya (2010) evaluated the natural weathering of two coats in wood of *Cedrela odorata* and *Carapa guianensis*. The results showed that ΔE changes in both species were similar.

México has numerous species of tropical woods with high potential to trade on the international market. However, there is a lack of information about its technological aspects including weathering. In order to increase information on natural weathering, this research elucidates the weathering process of important Mexican timber yielding species *Cordia elaeagnoides* DC, *Dalbergia granadillo* Pittier, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *Hura polyandra* Baill, *Swietenia humillis* Zucc, *Tabebuia donell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC while using *Fagus sylvatica* as control.

MATERIAL AND METHODS

Origin of the study material

Heatwood free of damage and defects of the species *C. elaeagnoides* DC, *D. granadillo* Pittier, *E. cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *H. polyandra* Baill, *S. humillis* Zucc, *T. donell-smithii* Rose, *T. rosea* (Bertol) DC., and *F. sylvatica* were used to study the weathering process. The wood was provided by the Faculty of Wood Technology of the University of San Nicolás of Hidalgo in Michoacán, México.

Study site

The field test was carried out at the Faculty of Forest Sciences of the Autonomous University of Nuevo León Campus Linares, Nuevo León México located on 24° 47' N and 99° 32' with an altitude of 384 m. The weather according to the Köppen, modified by García (2004) is classified as semi-arid and subhumid (A) C (Wo) with two rain periods (summer and fall). The National Water Commission reported an average rainfall of 2.1 mm/annum with a minimum average temperature of 16.3°C and maximum of 20.0°C for this region.

Weathering

The resistance to weathering was evaluated according to EN 927-3. Ten wood samples of 375 mm x 78 mm x 20 mm were prepared for each species and used in this study. The samples were conditioned in a climatic chamber at 20°C and 65% relative humidity. The samples were placed in 1m high racks inclined at 45° in a south direction to ensure that samples received sunlight for longer periods. Weathering was evaluated monthly from May to October 2013. The evaluation (study) period has the greatest amount of rainfall and solar luminosity values in the region.

Change in appearance

The change in appearance of the samples' surface was determined according to the standard ENpr 927-6. The samples were classified from 0 to 5 according to the weather effect. The value 0 corresponds to samples without any change in colour and 5 corresponds to the greatest change.

Change in colour

Changes in colour of the samples were determined according to the coordinates established by the International Commission on illumination (CIE Lab). "L" represents the brightness and its scale is from 0 (black) to 100 (white). The coordinate "a" corresponds to red colour with values from -a (red) to a (green), coordinate -b (yellow) to b (blue) (Brock et al., 2000). The samples were scanned six times; the first scan corresponded to upgraded samples without exposure to sunlight or precipitation. The other five scans were performed in 30, 60, 90, 120 and 150 days of exposition. The equipment was a scanner brand Brother Industries, Ltd ® model MFC 8890DW. The images were analyzed to obtain three data "L", "a" and "b" using the Adobe Photoshop ® CS software. Four values from each samples of each parameters L, a and b of each test were obtained from a systematic distribution on the x-coordinates (4.4, 4.12 4.20 and 4.28 cm) as shown in Figure 1. The change in colour (ΔE) of each samples were determined according to five successive scans after exposure to weather and the values were calculated with the following equation:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Where:

ΔE = colour change

ΔL = difference between the values of initial brightness and after exposure.

Δa = difference between the values of "a" initial and after each exposure.

Δb = difference between the values of "b" initial and after each exposure.

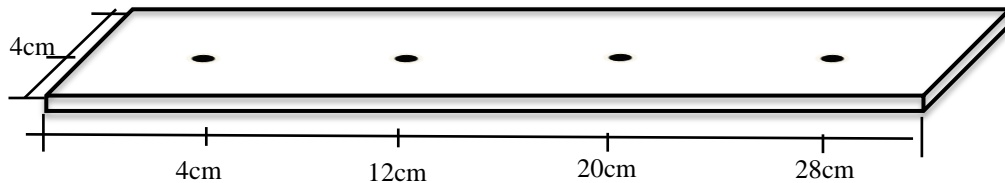


Figure 1. Dots corresponds the area where the L, a, and b values were obtained on each sample.

Class	Classification	Length of the cracks
0	No cracks	0
1	Fine and small cracks	$<1/3$ of L ¹
2	Long and wide cracks	$1/3$ to $2/3$ of L
3	Continuous cracks	$>2/3$ of L

¹ Exposed area.

Table 1 Craks classification

Cracks formation

The longest crack formed on each sample and on each scanned image was selected and measured on each scanned Figure 1. Measurements were taken with the Axion Vision Rel 4.8 software and the cracks were classified according to Schulte et al. (2004). Table 1 shows the classification of cracks.

Statistical analyses

The results of the colour change (ΔE) as well as the values of the length of the cracks were subjected to univariate variance analysis with factors species (8), number of scan (6), and position in the sample (4). The comparison of averages between the factors was carried out with the Tukey test ($p \leq 0.05$). All analyses were carried out using the statistical package SPSS version 20.

RESULTS

Change in appearance

Changes in appearance and colour of the species studied are shown in Figures 2 to 9. The change in appearance is shown in Figure 10. The species with greater appearance change after five months of exposition to natural weathering were *F. sylvatica* and *T. rosea* classified as class 5 (severe). *E. cyclocarpum* and *H. polyandra* exhibited a change in appearance class 4 (considered), *C. elaeagnoides* and *T. donell-smithii* showed a change in appearance class 3 (moderate) and *D. granadillo* and *S. humillis* showed a change in appearance class 2 (slight). The species *F. sylvatica* and *T. rosea* developed fungi on the surface, changing the colour of samples to dark (Figures 2 and 9).

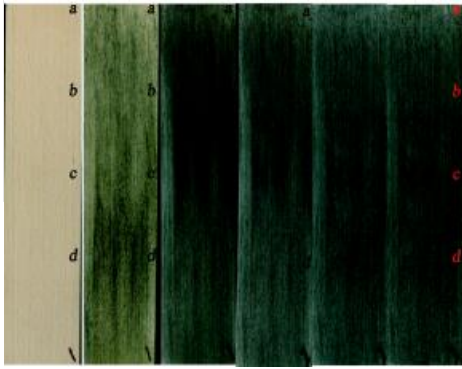


Figure. 2 *F. sylvatica*

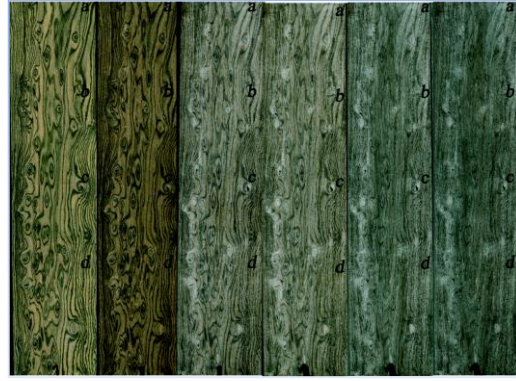


Figure. 3 *C. elaeagnoides*



Figure. 4 *D. granadillo*



Figure. 5 *E. cyclocarpum*

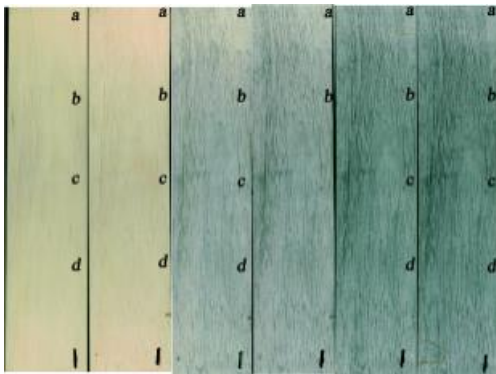


Figure. 6 *H. polyandra*

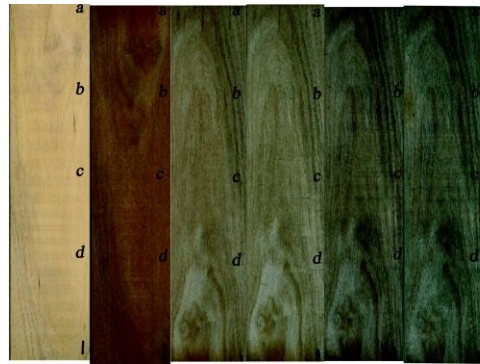


Figure. 7 *S. humillis*

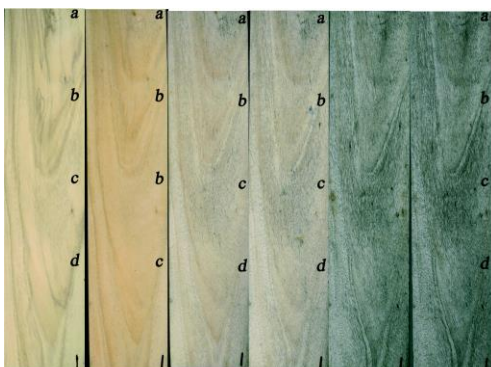


Figure. 8 *T. donell-smithii*,

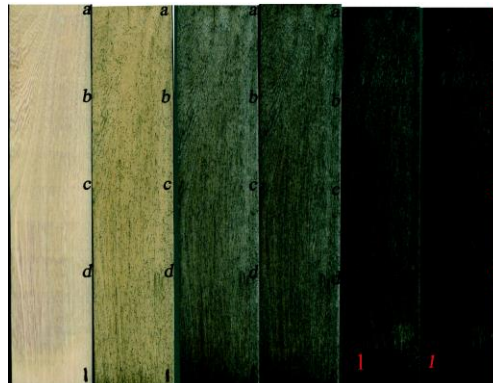


Figure. 9 *T. rosea*

The same was reported by Kuhne et al. (1970), Sell and Leukens (1971) and Roux et al. (1988). In addition to the weathering effect, some changes in appearance may result from microorganisms such as bacteria, mold and basidiomycetes. The pigments of these microorganisms appear in wood surface as humidity and luminosity (conditions) favor their growth (Hon and Minemura, 2001). *C. elaeagnoides*, *D. granadillo* and *S. humillis* (Figures 3, 4 and 7) showed a change in appearance after the first month of exposition and is in tandem with reports of Feist and Hon (1984).

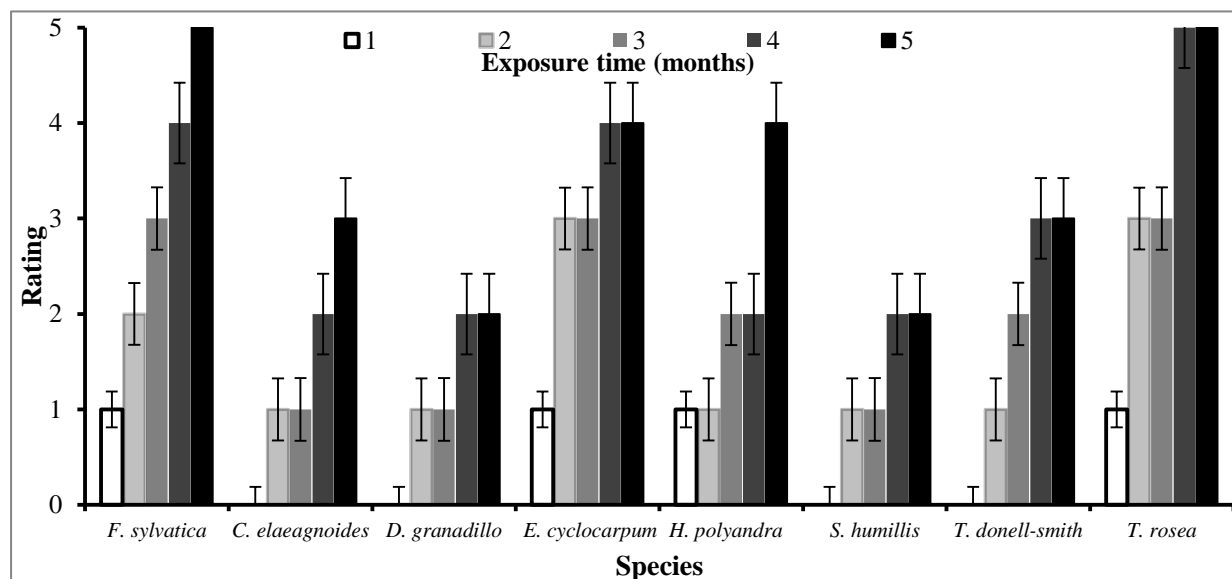


Figure. 10 Rating of appearance of eight important trade timber species of Mexico after five months on natural weathering.

Colour change

Values in colour change (ΔE) caused by natural weathering of wood are shown in Figure 11. The colour of the wood surface changed to grayish or dark in the first month itself (Figures 2 to 9). The results agrees with Feist (1983) and Sell and Leukens (1971). Changes in colour on wood surface may occur because of breaking of links of chemical compound derived from foto-oxidation reactions (Hon, 2001). Colour change was statistically different ($p > 0.0001$) among species, months of exposition and interaction of species and month of exposition (Table 2). Mean comparison using Tukey's test shows seven statistical groups. Results of the analysis of variance on the change in colour (ΔE) values are also shown in Table 2. Species with bigger ΔE on the last month were *T. rosea* (65.7) and the *F. sylvatica* (45.3). Species with a medium level of ΔE were *T. donell-smithii* (39.3), *S. humillis* (37.3), *E. cyclocarpum* (28.9) and *H. polyandra* (31.8) while those with low ΔE were *D. granadillo* (15.9) and *C. elaeagnoides* (19.7).

Comparison between ΔE values obtained by "L", "a" and "b" for the first month were higher than the ΔE of the third month because of the minimum value of changes in the colouration of certain wood (Hon and Minemura 2001). In a study of artificial weathering, Baar and Gryc (2012) reported ΔE for the following South American tropical species: *Hymenaea courbaril* L. (11.34), *Manilkara bidentata* A. Chev (8.64), *Astronium graveolens* Jacsq Vatairea, spp. (18.68), *Hymenolobium* spp. (5.63) and *Dinizia excelsa* Ducke (12.72) after 144 h of exposure. On the other hand, Oliveira et al. (2007) obtained values of change in colour from tropical timbers *Tabebuia imeginosa* (2.95), *Mezilaurus itauba* (13.13). *Manilkara huberi* (6.04), *Bagassa guianensis* (15.47) and *Couratari* spp (3.69) after 2,000 h of radiation and 400 h of leaching. Values of ΔE 35 were reported for *Cedrela odorata* and *Carapa guianensis* after exposure to natural weathering for 200 days (Valverde and Moya, 2010). Results from this study are consistent with Sandermann and Schlumbom (1962), Pandey (2005) and Hon (2001) and the order of change in colour of wood is dependent on wood species. On the other hand, Schnabel et al. (2009) found significant differences in the colour change of wood of the same species exposed to different atmospheric conditions.

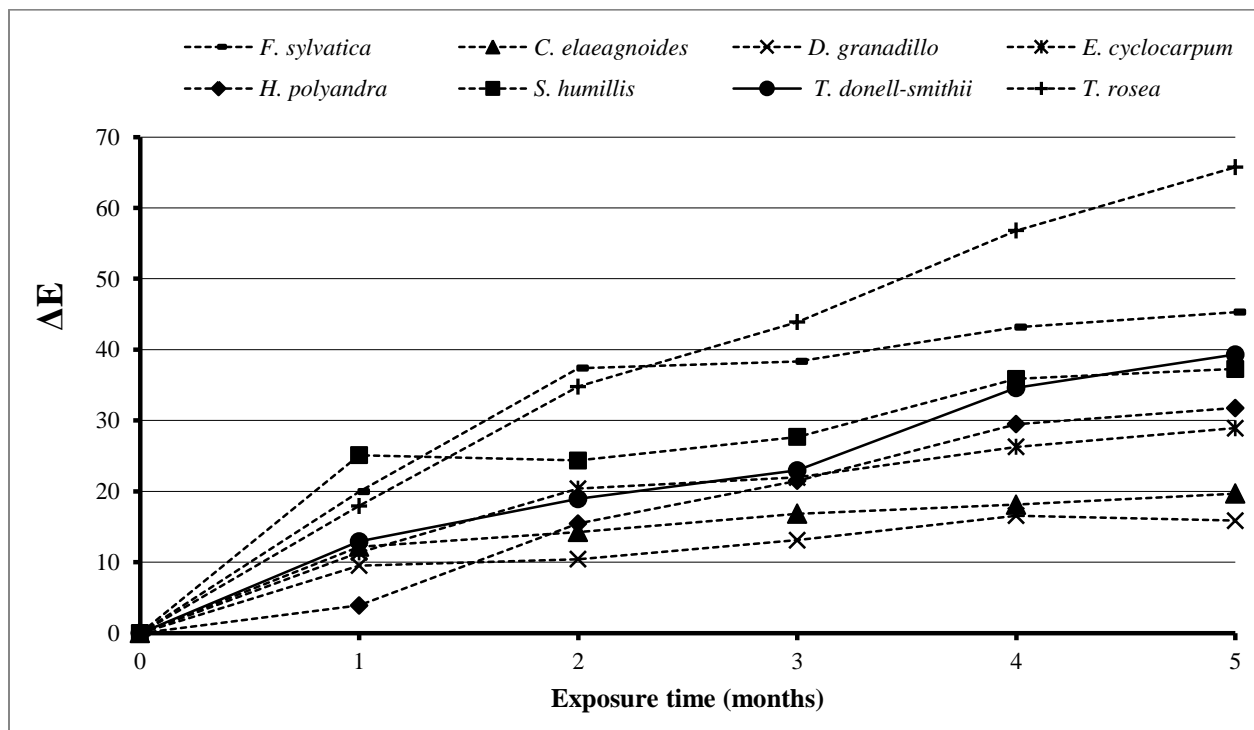


Figure 11: Color change of eight important trade timber species of México after five months on natural weathering.

Variation source	Sum of squares	D.F.	Quadratic mean	F	Sig.
Model	280571.547 ^a	39	7194.142	147.780	.000
Intersection	1081042.985	1	1081042.985	22206.546	.000
Specie	152511.984	7	21787.426	447.552	.000
Month	93304.556	4	23326.139	479.160	.000
Specie * Month	34725.824	28	1240.208	25.476	.000
Error	75942.791	1560	48.681		
Total	1437069.390	1600			
Total corrected	356514.337	1599			

a. $R^2 = .787$ (R^2 Corrected = .782)

Table 2. Summary of the analysis of variance of color change of eight timber species of México.

Changes in values L*, a*, y and b*

Changes in luminosity of the wood were presented after the first month of exposition (Figure 12). The change in luminosity was statistically different ($p < 0.0001$) between species, month of exposition and interaction species and month of exposition, as shown in Table 3. Means comparison using Tukey's test shows seven statistical groups. Change in luminosity after the fifth month of exposition was thus: *T. rosea* (- 84.5%), *F. sylvatica* (- 57.5%), *S. humillis* (- 35.4%), *H. polyandra* (-30.8%), *E. cyclocarpum* (-26.9%), *T. donell-smithii* (- 26.0%), *C. elaeagnoides* (- 8.6%) and *D. granadillo* (6.9%). Change in luminosity reported by Carrillo (2007) on the artificial weathering *F. sylvatica* was - 3% which is in contrast to values found in the present study (- 57.5%) because of the proliferation of microorganisms that causes wood staining thus, its consequent loss of brightness. In this study, the clear colour of woods (*F. sylvatica*, *H. polyandra*, *T. donell-smithii*, *T. rosea*) changed to a dark colour, while dark woods (*C. elaeagnoides*, *D. granadillo*, *S. humillis*) changed to a mixture of dark and opaque. This is consistent with that described by Hon and Minemura (2001). *Cordia elaeagnoides*, *D. granadillo* and *S. humillis* (Figures 3, 4 and 7) showed a reduction in luminosity (wood darkening) after the first month of exposition while in months two and three the luminosity rises again and finally declined. Similar behaviour was reported by Feist and Hon (1984) who established that weathering of wood occurs at an early stage where the colour becomes more obscure because extracts migrate to the surface, followed by photo-decomposition of those chemical components and leaching. These changes occur at depths ranging from 0.05 to 2.5 mm.

The values of “a” for all species except *F. sylvatica* and *T. rosea* increased on the first month of natural weathering (Figure 13). Values from the second month showed a reduction as a result of spots on their surfaces caused by fungi growth and the values in the subsequent months showed a steady decline to near-zero values. Values of “b” were different between species in the first month. *D. granadillo*, *T. donell-smith* and *T. rosea* showed increased “b” values, while *E. cyclocarpum* and *S. humillis* had reduced values. Finally *F. sylvatica*, *C. elaeagnoides* and *H. polyandra* presented similar values where during the following months “b” values were reduced (Figure 14). Natural weathering performed by Valverde and Moya (2010) and Schnabel et al. (2009) in two tropical timber species showed similar behavior as shown in this study. The values of the variables colour “a” and “b” reduced and after a period of exposition changes in colour tend to remain constant.

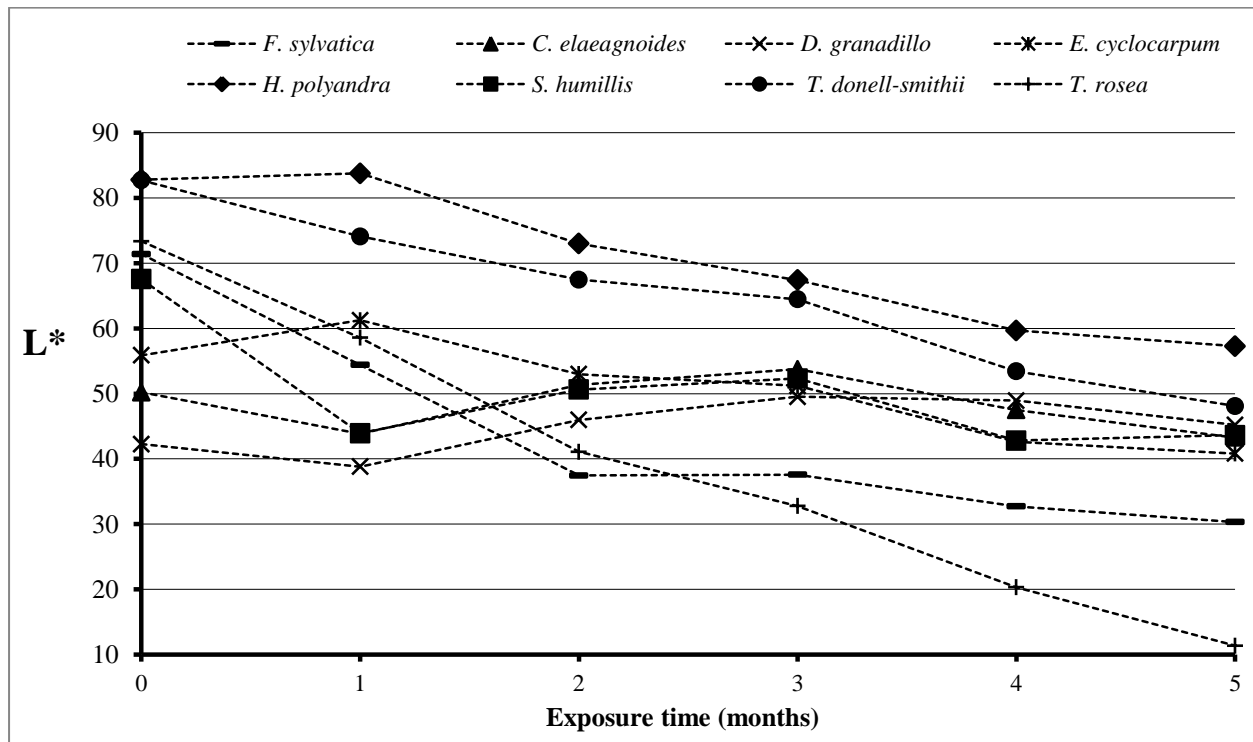


Figure. 12. Reduction of luminosity of eight important trade timber species of México.

Variation source	Sum of squares	D.F.	Quadratic mean	F	Sig.
Model	446480.412a	47	9499.583	175.732	.000
Intersection	5127503.563	1	5127503.563	94853.346	.000
Specie	192780.908	7	27540.130	509.463	.000
Month	139272.546	5	27854.509	515.279	.000
Specie * Month	114426.958	35	3269.342	60.479	.000
Error	101195.025	1872	54.057		
Total	5675179.000	1920			
Total corrected	547675.437	1919			

a. $R^2 = .815$ (R^2 Corrected= .811)

Table. 3 Summary of the analysis of variance of results of luminosity of eight timber species of México

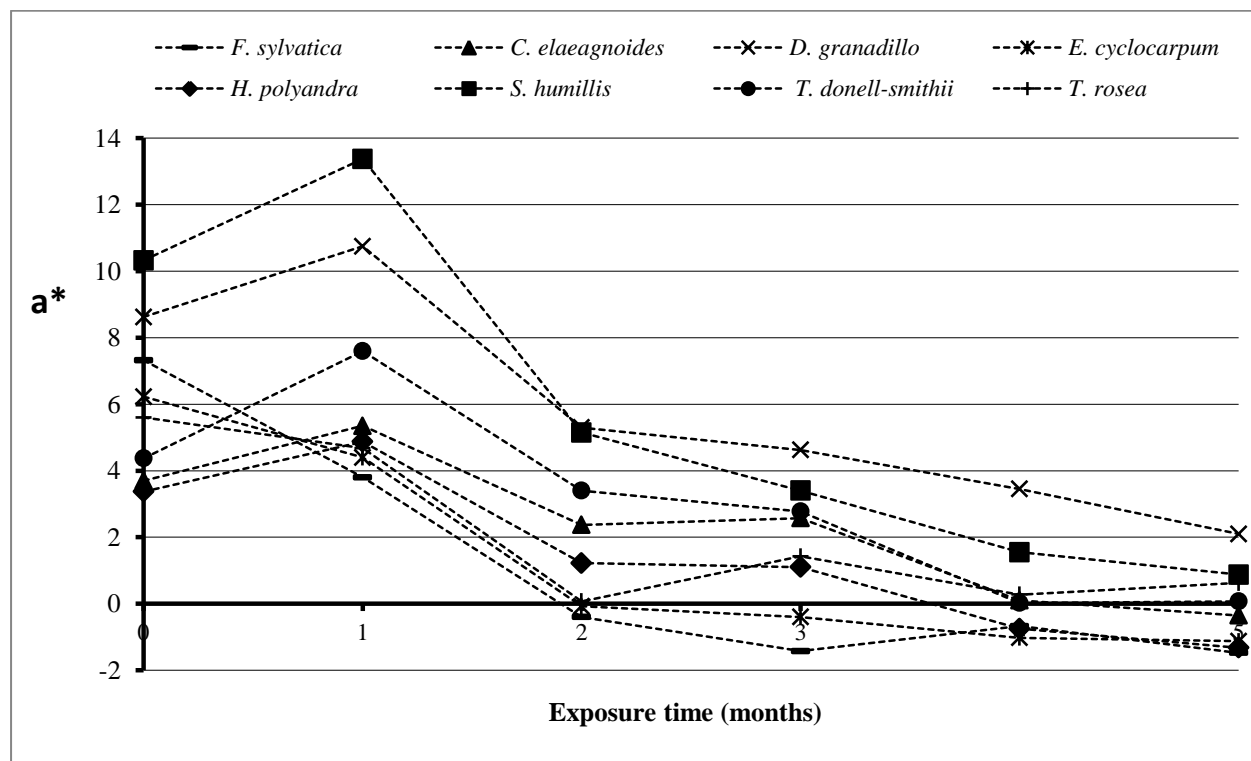


Figure. 13. Color change of variable "a*" on eight important trade timber species of México.

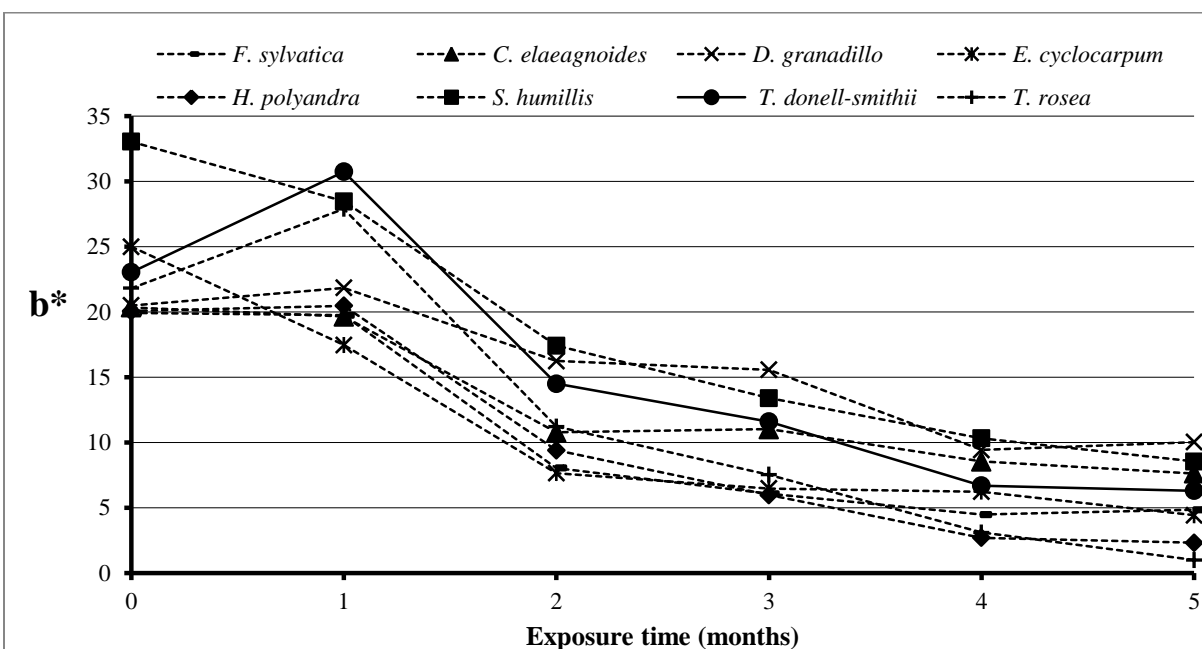


Figure 14. Change of variable “b*” on eight important trade species of México.

Cracks formation

After the first month of exposition, all the specimens started to show cracks with the exception of *H. polyandra*. Figure 15 shows the classification of cracks formation after five months of exposure. The species *H. polyandra* presented a value type 0 (no cracks) while other species showed type 1 ($L1 < 1/3$) and was classified as small (Figure 15). The cracks formation occurred in greater proportion after the third month but was lower after the fourth month. Cracks formation was statistically different ($p < 0.0001$) between species, month of exposure and interaction between species and duration of exposition. The results of the analysis of variance on crack formation value are presented in Table 4.

Hura polyandra, *E. cyclocarpum* and *S. humillis* presented the lowest percentage of cracks increase (0%, 1.3% and 3%, respectively) whereas *C. elaeagnoides* and *T. donell-smithii* recorded the highest percentages of 14 and 20%, respectively (Figure 16). Formation of micro-cracks may be the result of combined effect of water absorption and degradation of lignin which causes a change in tensión among fibers (Sandberg and Soderstrom, 2006). In a similar test,

Kueera and Sell (1987) described a formation of rupture areas because of fragility of rays on tangential section and the natural movement of the wood (swelling and shrinkage).

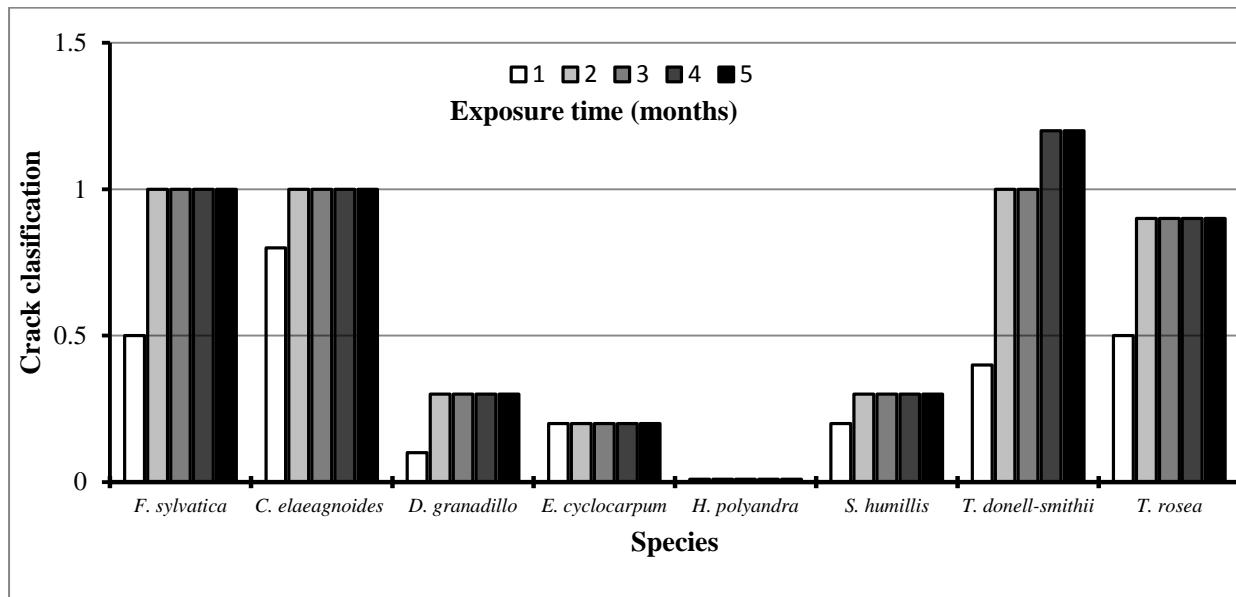


Figure 15: Cracks classification on eight important trade species of México

Variation source	Sum of squares	D.F.	Quadratic mean	F	Sig.
Modelo corregido	405.894 ^a	7	57.985	9.937	.000
Intersección	650.541	1	650.541	111.486	.000
ESPECIE	405.894	7	57.985	9.937	.000
Error	420.133	72	5.835		
Total	1476.569	80			
Total corregida	826.027	79			

a. R cuadrado = .491 (R cuadrado corregida = .442)

Table. 4. Summary of the analysis of variance of craks formation of natural weathering of eight timber species of México

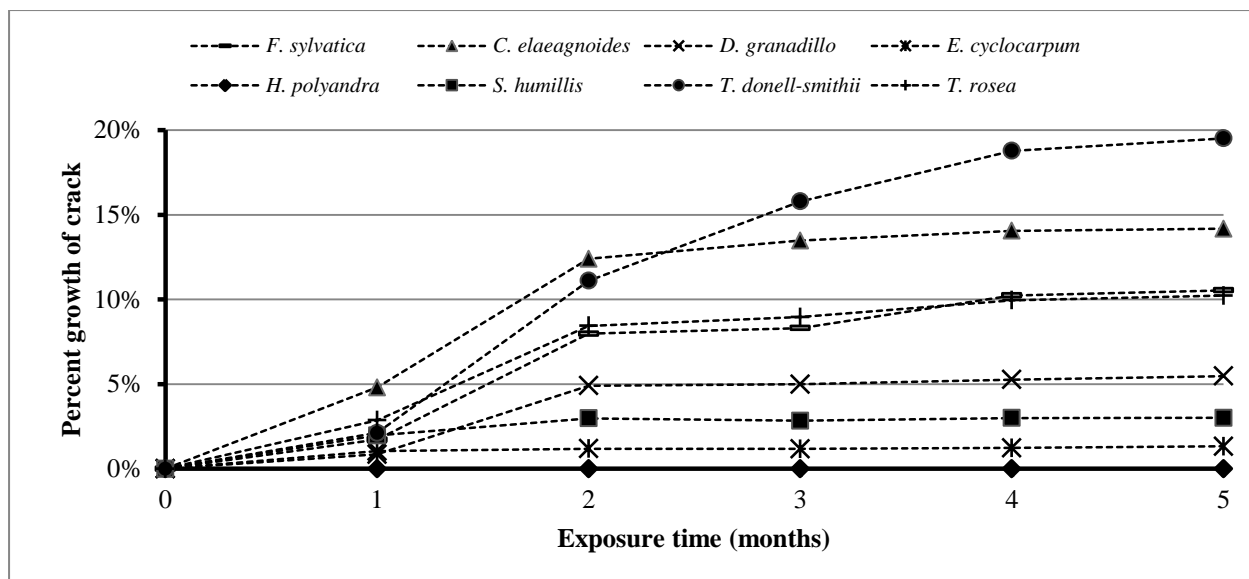


Figure. 16. Craks formation after natural weatering of eight important trade species of México.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Natural weathering modified the appearance of wood in the sampled species at different magnitudes. The species *F. sylvatica* and *T. rosea* had an effect class 5 (severe), *E. cyclocarpum* and *H. polyandra* exhibited an effect class 4 (considered), while in *E. elaeagnoides* and *T. donell-smithii* the effect was classified as class 3 (moderate). Finally *D. granadillo* and *S. humillis* had effect class 2 (slight). Wood exposed to natural weathering was transformed to gray or dark colour. The change was detected after the first month of exposition. The species that exhibited greater difference in colour change were *T. rosea* (ΔE 65.7) and *F. sylvatica* (ΔE 45.3). In the lower affected class *T. donell-smithii* (ΔE 39.3), *S. humillis* (ΔE 37.3), *E. cyclocarpum* (ΔE 28.9) and *H. polyandra* (ΔE 31.8) were grouped while *D. granadillo* (ΔE 15.9) and *C. elaeagnoides* (ΔE 19.7) presented the lowest values. Loss of brightness was recorded in *T. rosea* (- 84.5%), *F. sylvatica* (- 57.5%), *S. humillis* (-35.4%), *H. polyandra* (- 30.8%), *E. cyclocarpum* (-26.9%), *T. donell-smithii* (-26.0%), *C. elaeagnoides* (-8.6%) and *D. granadillo* (6.9%). Natural weathering effect was enhanced by fungi infection on the surface of *F. sylvatica* and *T. rosea*. The species with dark colour wood such as *C. elaeagnoides*, *D. granadillo* and *S. humillis* changed from dark to opaque. The cracks formation, type1 ($<1/3$ L1) was observed in all species with the exception of *H. polyandra* and qualified as type 0. The data obtained will provide a baseline data for further research on quantitative and qualitative descriptions in changes in appearance and colour of tropical species.

REFERENCES

- Baar J, Gryc V (2012). The analysis of tropical wood discolouration caused by simulated sunlight. *Eur. J. Wood Prod.* 70(1-3):263–269.
- Brock TM, Groeteklaes M, Mischke P (2000). *European Coatings Handbook*. Vicentz Verlag . (pp 410).Hannover Germany
- Carrillo-Parra A (2007). Technological investigation of *Prosopis laevigata* Wood from northeast Mexico. In the Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology of the University of Göttingen.
- Chapela G (2012). Competitividad de las empresas sociales forestales en México. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, AC. Universidad Autónoma Chapingo.
- Deka M, Humar M, Kricej GB, Petric M (2008). Effects of UV light irradiation on colour stability of thermally modified, copper ethanolamine treated and non-modified wood: EPR and DRIFT spectroscopic studies. *Wood Science Technology* 42(1):5–20.
- EN 927-3. (2006). Pinturas y barnices. Materiales de recubrimiento y sistemas de recubrimientos para madera exterior. Parte 3: Ensayo de envejecimiento natural. Comité Europeo de Normalización.
- ENpr 927-6 E.S. (2002). Paints and varnishes-Coating materials and coating systems for exterior wood- Part 6: Exposure of wood coating to artificial weathering using fluorescent UV and water.
- Feist WC (1983). Finishing wood for exterior use. In: Carter RM Proceedings 87318. Finishing eastern hardwoods. Forest Products Research Society, Madison.
- Feist WC, Hon DNS (1984). Chemistry of weathering e protection. In: ROWELL, R.M. The chemistry of solid wood (pp 614). Washington, U.S.A.: Am. Chem. Soc.
- FINANCIERA RURAL (2009). Situación de la madera nacional. Informe de Enrique de la Madrid Cordero, director de Financiera rural. Consulta en línea: <http://www.financierarural.gob.mx/informacioonsectorrural/Paginas/Forestal.aspx>. Fecha de consulta 20 de Enero del 2013.
- García E (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 3ra edición. UNAM, México D.F. P 252 .
- George B, Suttie E, Merlin A, Deglise X (2005). Photodegradation and photostabilisation of wood- the state of the art. *Polymer Degradation Stability* 88(2):268-274.

Ghost SC, Militz H, Mai C (2009). Natural weathering of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) boards modified with functionalized commercial silicone emulsions. *Bioresources* 4(2): 659-673

Hirche M (2009). Natural wood weathering as design as option. En F. &. LANDSCAPE, Proceedings of the 5th meeting of the Nordic-Baltic Network in Wood Material Science and Engineering (WSE) (pp. 198). Copenhagen, Denmark: Forest & Landscape Denmark, University of Copenhagen.

Hon DNS (2001). Weathering and photochemistry of wood. In *Wood and Cellulosic Chemistry*. Chapter 11: 513–546. DNS Hon and N. Shiraishi Eds Marcel Dekker, Inc., New York .

Hon DNS, Minemura N (2001). Colour and discolouration. In *Wood and Cellulosic Chemistry*. Chapter 9: 385–442. DNS Hon and N. Shiraishi Eds Marcel Dekker, Inc., New York.

Kučera LJ, Sell J (1987). Die Vewitterung von Buchenholz im Holzstrahlenbereich. *Holz als Roh-un Werkst.* 45(3): 89-93.

Kühne H, Leukens U, Sell J, Wälchi O (1970) Scanning Electron-Microscope observations on mold-fungi causing grey stain. *Holz Roh- Werkst* 28(6):223–229.

Lavoie JM, Stevanovic T (2006). Yield and composition of lipophilic extracts of yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) as a function of wood age and aging under industrial conditions. *Holzforschung* 60(2):184–189.

Oliveira e Silva J, Monteiro PTC, Pastore JF (2007). Resistencia ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento. *Ciencia Florestal*. Universidad Federal de Santa María. 17(1):17-23.

Organización internacional de las maderas tropicales (2012). *Rese-a anual y evaluación de la situación mundial de las maderas*. Organización Internacional de las Maderas Tropicales, Yokohama.

Pandey KK (2005). A note on the influence of extractives on the photo-discolouration and photo-degradation of wood. *Polymer Degradation and Stability*. 87(2):375-379.

Roux ML, Wozniak E, Miller ER, Boxall J, Böttcher P, Kropf F, Sell J (1988). Natural weathering of various surface coatings on five species at four European sites. *Holz Roh-Werkst* 46(5):165–170.

Sandberg D, Söderström O (2006). Crack formation due to weathering of radial and tangential sections of pine and spruce. *Wood Material Sci. Eng.* 1(1):12-20.

Sandermann W, Schlumbom F (1962). On the effect of filtered ultraviolet light on wood. Part II: kind and magnitude of colour difference on wood surfaces. *Holz roh-Werkst* 20(8):285-291.

Schnabel T, Zimmer B, Petutschnigg AJ (2009). On the modelling of colour changes of wood surfaces. *Eur. J. Wood Prod.* 67(2):141–149.

Schulte Y, Donath A, Krause S, Militz H (2004). Evaluation of outdoor weathering performance of modified wood. The International Research Group on Wood Preservation 04-20296. Ljubljana, Slovenia. 6-10.

Sell J, Feist WC (1986). US and European finishes for weather-exposed wood-a comparison. *Forest Products Journal* 36(4):37-41.

Sell J, Leukens U (1971). Untersuchungen an bewitterten Holzoberflächen – Zweite Mitteilung: Verwitterungserscheinungen an ungeschützten Hölzern. *Holz Roh-Werkst* 29(1):23–31.

Semarnat (2013). Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2012 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México DF.

Valverde JC, Moya R (2010). Efectos de la Intemperie en el colour de dos acabados aplicado en madera de Cedrela odorata y Carapa guianensis. *Maderas. Ciencia y Tecnología.* 12(3):171-180.

William RS, Feist WC (1993). Durability of paint or solid-colour stain applied to preweathered wood. *Forest products J.* 43(1):8-14.

Williams RS, Plantiga PL, Feist WC (1990). Photodegradation of wood affects paint adhesion. *Forest Prod. J.* 40(1):45-49.

Zabel RA, Morrell JJ (1992). Wood microbiology Decay and its Prevention, Academic Press, Inc. Harcourt Braces Jevenovich, Publishers.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE OCHO ESPECIES TROPICALES EXPUESTAS A LA DEGRADACIÓN DE TRES TIPOS DE SUELO EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Colín-Urieta, S^{1*}, Carrillo-Parra^{1*}, A. Rutiaga, J.G², González-Rodríguez, H¹, Jurado-Ybarra, E¹. Aguirre-Calderón, O.A..¹

1 Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Facultad de Ciencias Forestales, Carr. Nal. No. 85, Km 145. C.P. 66700, Apartado Postal 41. Linares, Nuevo León, México

2 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Apartado Postal 580, C.P. 58000 Morelia, Michoacán, México

JUNIO 2014

RESUMEN

Los suelos representan uno de los medios más incompatibles donde la madera puede ser puesta en servicio debido al gran número de microorganismos presentes que atacan la madera. El presente estudio valoró la durabilidad natural de ocho especies tropicales con el empleo de la norma ENV 807. La durabilidad natural se determinó en tres clases de suelos: arenoso, franco-arcilloso-arenoso y arcillo-limoso. La durabilidad natural de la madera se determinó por pérdida de masa, módulo de elasticidad estático (MOE-estático) y módulo de elasticidad dinámico (MOE-dinámico) después de 32 semanas de exposición. Los resultados mostraron la existencia de diferencias estadísticas ($p < 0.001$) entre las especies y por efecto del suelo utilizado. La mayor pérdida de masa, MOE-estático y MOE-dinámico se presentó en las especies *F. sylvatica*, *T. rosea* y *E. cyclocarpum*, mientras que las especies con mayor durabilidad (menor pérdida de masa y MOE) fueron *C. elaeagnoides* y *D. granadillo*. Las especies *S. humillis*, *T. donell-smithii* y *H. polyandra* se establecieron en un nivel medio de durabilidad del total de las ocho especies. El suelo franco arcillo-arenoso extraído de un sitio en el municipio de Actopan Veracruz resultó con los porcentajes más altos de pérdida de masa y MOE en las probetas de madera. Se confirma que el MOE es un mejor indicador de la durabilidad que la pérdida de masa.

INTRODUCCIÓN

La madera de las especies tropicales son muy heterogéneas, pudiendo presentar varios colores, densidades, durezas, variados índices de contracción y durabilidad con características químicas, mecánicas y físicas, propiedades de maquinado y secado, algunas son de extraordinaria belleza que es exhibida en la fabricación de muebles, instrumentos musicales, partes de automóviles, artesanías, etc. El comercio mundial de productos de maderas tropicales representó valores de 26,159.8 millones \$(EU) y volúmenes de 245.5 millones de m³ en el año 2011 (OIMT, 2012). En México, de acuerdo con el Anuario Estadístico de la Producción Forestal (2013) se aprovecharon 294,601 m³r de especies comunes tropicales y 21,936 m³r de preciosas tropicales que representan el 5.4% de la producción total con un valor de \$18,449,868 (SEMARNAT, 2014).

La caracterización tecnológica y la difusión de los resultados de algunas especies tropicales poco conocidas (LKTTS) han permitido sustituir especies sobre aprovechadas en algunos sectores como la fabricación de muebles e industria de instrumentos musicales. Además de los atributos estéticos empleados para la selección de las especies de maderas, la durabilidad natural también es considerada de suma importancia. Éste atributo es definido como la resistencia de la madera a ser degradada por medios bióticos y abióticos. La durabilidad puede ser evaluada a través de diversos métodos de laboratorio y de campo, los más empleados son la exposición a suelos, considerados como unos de los ambientes más hostiles donde la madera es expuesta.

La amplia variedad de microorganismos que en él habitan como los hongos de pudrición blanda (Ascomycetes y Deuteromycetes) garantizan la efectividad de la prueba, organismos notables que presentan gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales (suelos o agua) y a sustancias preservantes de madera (Schmidt, 2006). El mecanismo desarrollado por los organismos es producir perforaciones dentro de la capa S₂ de la pared celular tanto de coníferas como de latifoliadas (Liese, 1955).

El método de suelos acelerados mantienen controladas la temperatura y la humedad para asegurar un deterioro constante por los microorganismos en un corto tiempo, lo anterior garantiza que los

ensayos puedan ser reproducibles por otros investigadores. Se ha encontrado que diferentes tipos de suelos causan niveles de pudrición diferentes. Por ejemplo, suelos que han sido utilizados para cultivo causan mayor pudrición que aquellos que no lo han sido. Factores como el tipo de suelo, contenido de humedad, química y la microflora presente de los suelos pueden influenciar el tipo de ataque y clase de degradación en la madera.

Los objetivos del presente trabajo fueron estimar la durabilidad natural de las especies *Cordia elaeagnoides* DC, *Dalbergia granadillo* Pittier, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *Hura polyandra* Baill, *Swietenia humillis* Zucc, *Tablaebuia donell-smithii* Rose, *Tablaebuia rosea* (Bertol) DC, y un testigo *Fagus sylvatica* L. comparar los resultados de la pérdida de masa, módulo de elasticidad estático y módulo de elasticidad dinámico fueron utilizados para determinar el deterioro provocado por los microorganismos de los suelos en la madera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Especies de madera, preparación de probetas y contenedores

La madera de duramen libre de daños y defectos de las especies *Cordia elaeagnoides* DC, *Dalbergia granadillo* Pittier, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *Hura polyandra* Baill, *Swietenia humillis* Zucc, *Tablaebuia donell-smithii* Rose, *Tablaebuia rosea* (Bertol) DC, y *Fagus sylvatica* L. fue proporcionada por la Facultad de Tecnología de la Madera de la Universidad de San Nicolás de Hidalgo. Las probetas se elaboraron a partir de la madera secada naturalmente, las dimensiones fueron de 100 mm x 10 mm x 5 mm en las direcciones longitudinal, radial y tangencial (L x R x T).

Origen de suelo

Suelos arenoso, franco-arcilloso-arenoso y arcillo-limoso se colectaron en tres localidades con diferentes condiciones climáticas. Se determinó el pH, conductividad eléctrica, textura siguiendo la norma NOM-021-RECNAT-2000 y la cantidad de materia orgánica con el método modificado de Walkley y Black (1934). Información referente a las localidades y los resultados de los análisis se muestran en la Tabla 1. Los suelos durante el experimento se mantuvieron en condiciones de laboratorio a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ con un $65\%\pm 2$ de humedad relativa en contenedores de plástico de 60 cm x 40 cm x 15 cm a una humedad del 95% de su capacidad de retención de agua (WHC).

Tabla 1 Descripción de los suelos arenoso, franco-arcilloso-arenoso y suelo arcillo- limoso colectados de localidades de Veracruz, Michoacán y Nuevo León, México

Característica	Origen del suelo		
	Actopan, Veracruz	Morelia, Michoacán	Linares, Nuevo León
Localidad	La Mancha	Tenencia Morelos	Facultad de Ciencias Forestales
Coordenadas geográficas	19°30' N, 96°22' O	19°39' N, 11°13' O	24°47' N, 99°32' O
¹ Tipo de clima	Cálido subhúmedo Aw1	Templado con humedad media, C(w1),	Semiárido y subhúmedo (A) C (Wo)
² pH del Suelo	7.8	5.3	7.8
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	398.7	183.7	342.3
³ Materia orgánica (%)	3.4381	2.6054	3.259
³ Carbono orgánico (%)	1.9942	1.5113	1.8904
Arena (%)	50.6	86.6	12.6
² Textura Limo (%)	26.4	8.4	40.4
Arcilla (%)	23.1	5.1	47.1
Clasificación	Franco arcillosa- arenosa	Arenoso	Arcillo-limoso

¹ García (1998), ² NOM-021-RECNAT-2000, ³ Walkley y Black (1934)

Durabilidad natural de la madera en microcosmos terrestre

La durabilidad natural de la madera en contacto con el suelo en condiciones de laboratorio fue determinada con la Norma Europea EN-807 (1993). La prueba fue desarrollada en cuarenta y ocho probetas de cada especie por suelo más cuarenta y ocho de la especie *F. sylvatica* utilizada como testigo. Las probetas fueron distribuidas al azar y enterradas a un 80% de su longitud y separación de 20 mm entre probetas en los contenedores descritos anteriormente.

Pérdida de masa

La pérdida de masa se calculó al relacionar la masa de las probetas de cada especie en las semanas 8, 16, 24 y 32 con la masa inicial según se presenta en la Ecuación 1. Al finalizar de cada ensayo, las probetas se colocaban nuevamente en el contenedor.

Ecuación 1

$$Wl = \frac{W_1 - W_2}{W_1} 100$$

Dónde:

Wl= pérdida de masa (%)

W₁= masa inicial (g)

W₂= masa final (g)

Evaluación de MOE-estático

Las pruebas de flexión en tres puntos se realizaron en 12 probetas de cada especie colectadas en las semanas 8, 16, 24 y 32 en la máquina universal marca Shimadzu SLFL-100KN aplicando una velocidad de carga de 2 mm/min estableciendo el Módulo de Elasticidad (MOE) de cada probeta se calculó de acuerdo con la Ecuación 2.

Ecuación 2

$$MOE_{estático} = \frac{l^3}{4 \cdot b \cdot h^3} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta f}$$

Dónde:

MOE_{estático}= módulo de elasticidad de la prueba de carga en tres puntos (N/mm²)

ΔF = carga (N)

l = longitud entre los soportes (mm)

Δf = deflexión (mm)

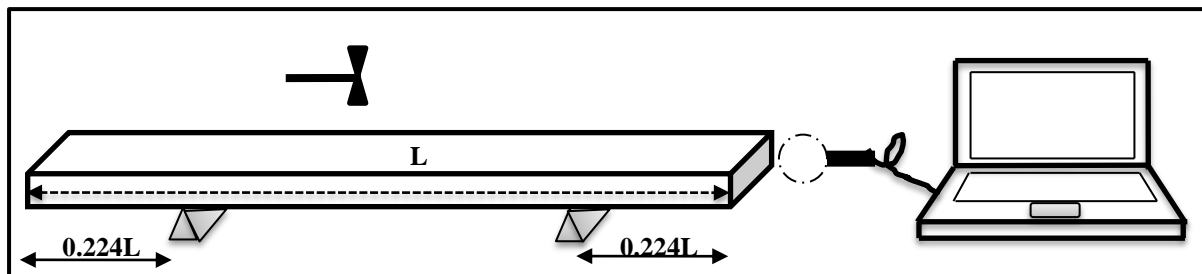
b = ancho de la probeta (mm)

h = espesor de la probeta (mm)

Evaluación MOE-dinámico

El MOE-dinámico fue determinado mediante la inducción de vibraciones producidas por el golpe de un pequeño martillo en el punto medio de la longitud de la probeta lavadas previamente, para remover todo el suelo y micelio. Las probetas se saturaron de agua en una cámara al vacío por 60 min. Las probetas fueron pesadas y medidas para establecer la densidad aparente. La señal emitida por el golpe del martillo a través de la probeta fueron registradas por un micrófono en el extremo de la probeta la cual es suspendida en dos soportes a una distancia de cada extremo de 0.224 veces la longitud de la probeta (Figura. 1), el micrófono transmite la señal emitida a un software desarrollado por Fakopp (2011). El módulo de elasticidad dinámico se calculó mediante la ecuación 3.

Figura. 1 Proceso de obtención de la frecuencia por las ondas de esfuerzo



Ecuación 3

$$MOE_{din} = \rho V^2$$

Dónde:

MOE din: Módulo de elasticidad dinámico (N/mm²).

ρ : Densidad aparente (g/mm³)

V: Velocidad del sonido (mm/s) $V = 2Lf$

Dónde:

L: Longitud de la probeta (mm).

f: Frecuencia de la vibración longitudinal (Hz).

Análisis estadísticos

Los resultados de la pérdida de masa, módulo de elasticidad (MOE) y módulo de elasticidad dinámico (MOE dinámico) fueron sometidos a un análisis de varianza con un criterio de clasificación con arreglo factorial. Los factores fueron: especies (ocho), tipo de suelo (tres) y semanas de exposición (cinco). Con doce repeticiones por especie. Se aplicaron pruebas de tukey ($p \leq 0.05$) cuando se encontraron diferencias estadísticas entre los factores. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SPSS® versión 20.

RESULTADOS

Pérdida de masa (MOE estático)

Especies de madera

Los resultados de pérdida de masa a 32 semanas de exposición indican que todas las especies tuvieron una disminución en los tres tipos de suelo causado por la pudrición de la pared celular producto de la exposición de las probetas. Los resultados del ANOVA (Tabla 2) de la pérdida de

masa muestra diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) entre las especies, tipo de suelo y tiempo, así como en las interacciones especie-suelo ($p < 0.005$). Las pruebas de Tukey entre especies, tipo de suelo y tiempo mostraron cinco, tres y cinco grupos estadísticos, respectivamente (Tabla 3 y Tabla 4).

Tabla 2 Resumen del ANOVA de la pérdida de masa y pérdida del MOE.

Fuente de variación	Pérdida de masa			Pérdida del MOE		
	<i>MS</i> *	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Especie (E)	10.6	2422.811	<0.0001	6212049149.4	570.129	<0.0001
Tiempo (T)	0.025	13.208	<0.0001	315416177.1	67.546	<0.0001
Suelo (S)	0.023	18.130	<0.0001	147451223.7	47.365	<0.0001
Interacción (ExT)	0.010	0.741	0.792	128727271	3.938	<0.0001
Interacción (ExS)	0.021	2.358	0.003	256191658.3	11.756	<0.0001
Interacción (TxS)	0.001	0.363	0.902	2325833.5	0.249	0.960
Interacción (ExTxS)	0.012	0.453	0.999	99754746.8	1.526	0.018
Error	0.716			1780695905.2		

*Suma de cuadrados

Tabla 3 Prueba de Tukey entre las especies sobre las variables de respuesta pérdidas de masa y MOE

Especie	Pérdida de masa		Especie	Pérdida de MOE	
	Grupo	Media (%)		Grupo	Media (%)
<i>F. sylvatica</i>	a	25.0	<i>E. cyclocarpum</i>	a	59.8
<i>E. cyclocarpum</i>	a	23.5	<i>H. polyandra</i>	b	38.4
<i>T. rosea</i>	a	22.3	<i>F. sylvatica</i>	c	35.8
<i>H. polyandra</i>	b	10.9	<i>T. rosea</i>	c	26.8
<i>S. humillis</i>	bc	8.4	<i>T. donell-smithii</i>	d	20.3
<i>T. donell-smithii</i>	bc	6.8	<i>C. elaeagnoides</i>	e	20.5
<i>C. elaeagnoides</i>	c	4.5	<i>S. humillis</i>	e	17.0
<i>D. granadillo</i>	c	4.5	<i>D. granadillo</i>	f	6.5

Tabla 4 Prueba de Tukey entre los tipos de suelos sobre las variables de respuesta pérdida de masa y MOE.

Tipo de suelo	Pérdida de masa		Tipo de suelo	Pérdida del MOE	
	Grupo	Media (%)		Grupo	Media (%)
Franco arcillo-arenosa (Actopan)	a	17.7	Franco arcillo-arenosa (Actopan)	a	33
Arcillo-limoso (Linares)	b	12.4	Arcillo-limoso (Linares)	a	28.1
Arenoso (Morelia)	b	9.6	Arenoso (Morelia)	b	20.7

La Tabla 5 muestra los grupos estadísticos de acuerdo a la prueba de Tukey. Para los tiempos de extracción se agrupan tres y cuatro grupos en las variables de pérdida de masa y MOE.

Tabla 5 Prueba de Tukey entre los tiempos de extracción sobre las variables de respuesta pérdida de masa y MOE.

Tiempo (semanas)	Pérdida de masa		Tiempo (semanas)	Pérdida de MOE	
	Grupo	Media (%)		Grupos	Media (%)
8	a	8.5	8	a	16.5
16	bc	11.9	16	b	24.6
24	bc	15.2	24	c	31.2
32	d	17.3	32	d	40.1

Las especies más resistentes (menor pérdida de masa) que se encuentran en el grupo estadístico “c” fueron *C. elaeagnoides*, y *D. granadillo* con valores de pérdida de masa desde 6% en los diferentes tipos de suelos (Figura. 3 y Figura. 4). La especie *D. granadillo* (Figura. 4) presentó valores de pérdida de masa alrededor del 6% que es comparable a *Tectona grandis* reconocida por su alta durabilidad (Machek et al., 2001) Las especies medianamente resistentes (grupos estadísticos “b y bc”), (Tabla 3) fueron *H. polyandra*, *S. humillis* y *T. donell-smithii* con valores de pérdida de masa desde 10.2 % hasta 15% (Figura. 6, Figura. 7, y Figura. 8).

Las especies *T. rosea*, *E. cyclocarpum* y *F. sylvatica*, presentaron menor resistencia con valores de 29.3%, 30.4% y 31%, respectivamente (Figura 2, Figura 5 y Figura 9). La baja durabilidad de las especies de madera se ha atribuido en muchos casos a la relativamente baja cantidad de extraíbles; uno de los factores más importantes para incrementar la durabilidad natural de las maderas (Taylor et al., 2003).

MOE estático

Especies de madera

Los resultados de pérdida de MOE estático a 32 semanas de exposición indican que todas las especies tuvieron una disminución en los tres tipos de suelo causado por la pudrición de la pared celular producto de la exposición de las probetas. Los resultados del ANOVA de la pérdida de MOE estático (Tabla 2) muestra que hay diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) entre las especies, tipo de suelo y tiempo, así como en las interacciones especie-tiempo y especie-suelo. Las pruebas de Tukey entre especies, tipo de suelo y tiempo mostraron seis, dos y cuatro grupos estadísticos, respectivamente (Tabla 3, Tabla 4, y Tabla 5).

La pérdida de MOE se identificó en seis grupos estadísticos. Las especies (grupo estadístico “e” y “f”) que perdieron el menor MOE fueron *D. granadillo*, *C. elaeagnoides* y *S. humillis* (Tabla 3) con valores finales promedio de 11.1%, 29.4% y 28.2% (Figura 3, Figura 4 y Figura 7). El segundo grupo de especies (grupo estadístico “d” y “c”) incluye *T. donell-smithii*, *T. rosea* y *F. sylvatica* con porcentaje de pérdida de MOE del 33.5%, 46.7% y 45.2% (Figura. 8, Figura. 9, y Figura 2). La mayor pérdida del MOE (grupo estadístico “a” y “b”) fue registrada en las especies *H. polyandra* y *E. cyclocarpum* 52.6% y 74.4% (Figura. 6 y Figura. 5).

Figura. 2 Pérdida de masa y MOE de la especie *F. sylvatica*

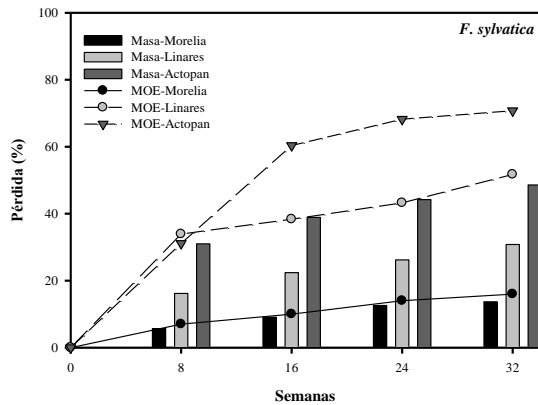


Figura. 3 Pérdida de masa y MOE de la especie *C. elaeagnoides*

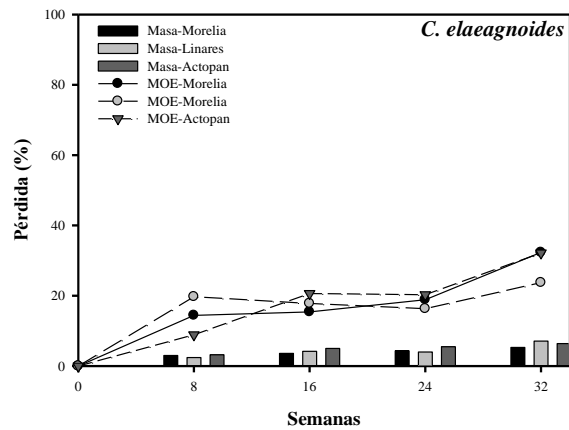


Figura. 4 Pérdida de masa y MOE de la especie *D. granadillo*.

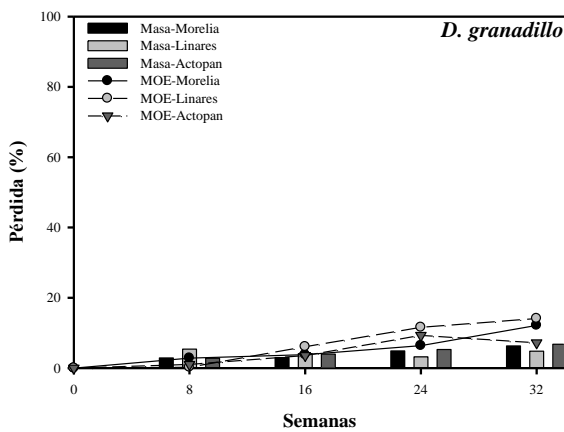


Figura. 5 Pérdida de masa y MOE de la especie *E. cyclocarpum*.

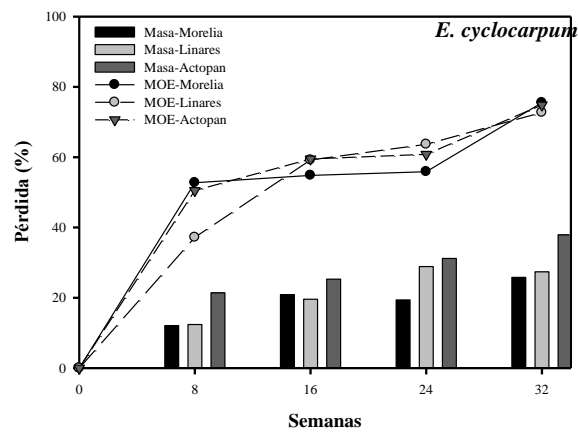


Figura. 6 Pérdida de masa y MOE de la especie *H. polyandra*.

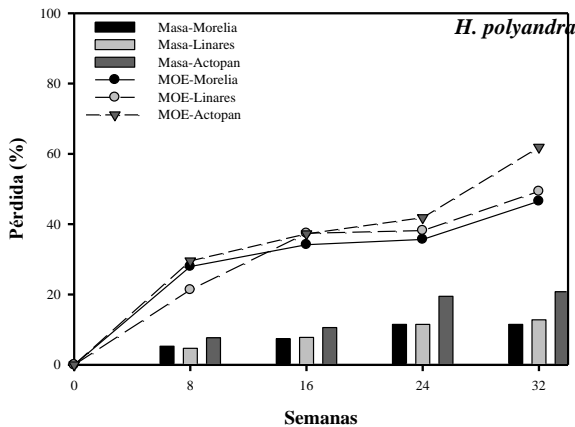


Figura. 7 Pérdida de la masa y MOE de la especie *S. humillis*.

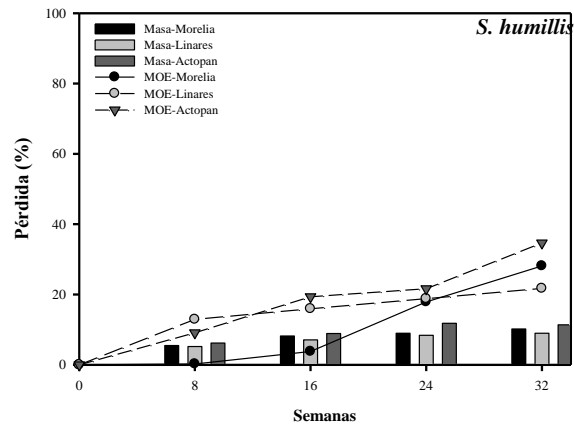


Figura. 8 Pérdida de la masa y MOE de la especie *T. donell-smithii*.

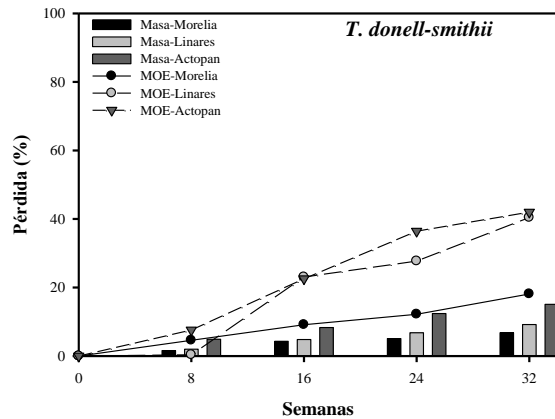
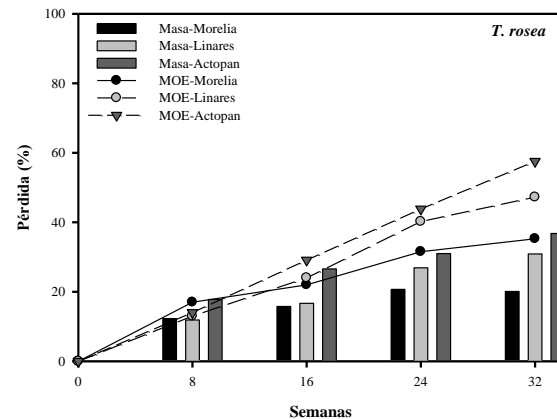


Figura. 9 Pérdida de la masa y MOE de la especie *T. rosea*



Efecto de los suelos

La pérdida de masa y MOE de las especies presentó diferencias estadísticamente significativas entre tipos de suelo (Tabla 4). El suelo Franco arcillo-arenosa (Actopan) propició mayor pérdida de masa y MOE (Valor medio de 17.7% y 33%, respectivamente), seguido por el de Arcillo-limoso (Linares) (Valor medio 12.4% y 28.1%, respectivamente) y finalmente el Arenoso (Morelia) (Valor medio 9.6% y 20.7%, respectivamente). La pérdida de masa en la madera de las especies fue variando en función del suelo utilizado los que concuerda con los ensayos realizados por Machek et al. (2001) donde evaluó maderas de baja durabilidad (*Populos* spp, *Ulmus* spp, y *F. sylvatica*) que perdieron entre 35% y 40% de la masa, y entre 77% y 86% del MOE; valores similares a los obtenidos con el testigo (*F. sylvatica*), *E. compactum* y *T. rosea* (Figura. 2, Figura. 5, Figura. 9). Una mezcla de maderas africanas y suelo europeo fue utilizado por Charifo et al. (2011) las especies de mayor durabilidad perdieron en promedio un 3% de masa y las de menor durabilidad del 40.4% al 48% valores que son equivalentes a los obtenidos en el experimento. Por otra parte, los porcentajes de pérdida de masa de las especies es variado dependiendo del tipo de suelo utilizado esto mismo fue reportado por (Brischke et al., 2009; Nami et al., 2005).

De acuerdo al experimento, se puede concluir que el MOE es un mejor indicador que la pérdida de masa en el deterioro de la madera, esto es debido a que la pérdida de la fuerza puede desarrollarse en las primeras etapas de pudrición aun con una baja pérdida de masa (Hardie, 1980; Liese, 1955; Machek et al., 1997; Ross y Pellerin, 1991), debido a la degradación intensiva de los carbohidratos por parte de los hongos de pudrición suave causan una pérdida del 50% de la flexión con tan solo el 5% de la pérdida de masa ocasionando que la madera se quiebren por la reducción de la estabilidad dimensional esta misma conclusión pudo apreciarse en las especies ensayadas una vez concluido los periodos de evaluación (Schmidt, 2006)

MOE-dinámico

De acuerdo con el ANOVA (Tabla 6) la variable de respuesta pérdida de masa muestran que son altamente significativas ($p < 0.0001$) los factores entre las Especies, Suelo y la interacción Tiempo-Suelo, mientras que en la variable pérdida de MOE dinámico (Tabla 7) son altamente significativas ($p > 0.0001$) entre Especie, Tiempo, Suelo y las interacciones Especie-Tiempo, Especie-Suelo, Tiempo-Suelo y Especie-Tiempo-Suelo.

Tabla 6 Resumen del Anova de la variable pérdida de masa del MOE dinámico.

Fuente de variación	Pérdida de masa		
	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Especie (E)	0.007	170.189	<0.0001
Suelo (S)	0.000	11.241	<0.0001
Interacción (ExS)	0.002	36.141	<0.0001
Error	4.219E-005		

*Suma de cuadrados

Tabla 7 Resumen del Anova de la variable MOE dinámico.

Fuente de variación	Pérdida del MOE dinámico		
	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Especie (E)	5.267	1990.931	<0.0001
Tiempo (T)	1.091	412.401	<0.0001
Suelo (S)	0.004	1.324	<0.0001
Interacción (ExT)	0.430	162.553	<0.0001
Interacción (ExS)	0.004	1.634	<0.0001
Interacción (TxS)	0.002	0.700	<0.0001
Interacción (ExTxS)	0.002	0.702	<0.0001
Error	0.003		

*Suma de cuadrados

La prueba posterior de Tukey entre las especies se concentró siete conjuntos estadísticos en la pérdida de masa, mientras que en la pérdida de MOE dinámico se agrupó tres conjuntos estadísticos (Tabla 8).

Tabla 8 Prueba de Tukey entre especies para las variables pérdida de masa y MOE dinámico.

Especies	Pérdida de masa		Especies	Pérdida de MOE-dinámico	
	Grupos	Media (%)		Grupos	Media (%)
<i>F. sylvatica</i>	a	30.9	<i>F. sylvatica</i>	a	48.4
<i>E. cyclocarpum</i>	b	27.6	<i>E. cyclocarpum</i>	b	37.7
<i>T. rosea</i>	b	25.8	<i>H. polyandra</i>	c	31.8
<i>H. polyandra</i>	c	18.8	<i>T. rosea</i>	c	30.3
<i>T. donell-smithii</i>	d	9.9	<i>T. donell-smithii</i>	d	15.9
<i>S. humillis</i>	d	9.7	<i>S. humillis</i>	e	10.9
<i>C. elaeagnoides</i>	de	5.3	<i>D. granadillo</i>	f	7.1
<i>D. granadillo</i>	e	3.9	<i>C. elaeagnoides</i>	f	5.9

La Tabla 9 muestra dos grupos estadísticos arrojados de la prueba de Tukey de los tipos de suelo para las variables de respuesta pérdida de masa y MOE dinámico.

Tabla 9 Prueba de Tukey de los tipos de suelo para las variables pérdida de masa y MOE dinámico.

Tipo de suelo	Pérdida de masa		Tipo de suelo	Pérdida del MOE- dinámico	
	Grupos	Media (%)		Grupos	Media (%)
Franco arcillo-arenoso (Actopan)	a	20.2%	Franco arcillo-arenoso (Actopan)	a	28.3
Arcillo-limoso (Linares)	a	16.6%	Arcillo-limoso (Linares)	b	22.4
Arenoso (Morelia)	b	12.7%	Arenoso (Morelia)	c	19.8

Un total de cuatro grupos estadístico fueron arrojados de la prueba de Tukey del factor Tiempo (semanas) para la variable de respuesta MOE-dinámico (Tabla 10).

Tabla 10 Prueba de Tukey del tiempo de extracción del MOE dinámico.

Tiempo (semanas)	Pérdida de MOE dinámico	
	Grupo	Media (%)
32	a	40.1
24	b	33.6
16	c	27.5
8	d	16.3

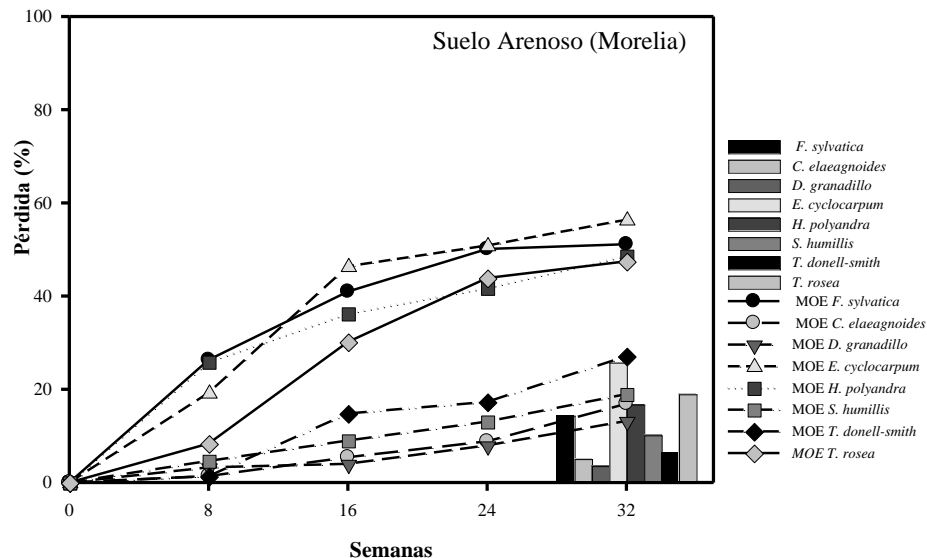
Pérdida de masa (MOE dinámico)

El ensayo dinámico que consistió en mantener monitoreado la disminución del MOE dinámico de un solo banco de probetas a lo largo del experimento. Las especies más resistentes (menor pérdida de masa) que se encuentran en el grupo estadístico “de y e” fueron *C. elaeagnoides* y *D. granadillo* con valores de pérdida final de masa de 4.8% y 5.3% en los diferentes tipos de suelos (Figura. 10, Figura. 11, Figura. 12). Las especies medianamente resistentes (grupo “d”), (Tabla 8) fueron, *S. humillis* (9.7%) y *T. donell-smithii* (9.9%). La pérdida más grande de masa estuvo en las especies *H. polyandra* (18.8%), *T. rosea* (25.8%), *E. ciclocarpum* (27.7%) y la especie *F. sylvatica* (30.9%) (Figura. 10, Figura. 11, y Figura. 12)

Pérdida de MOE- dinámico

Como puede observarse en la prueba de Tukey (Tabla 8) la especie que menor porcentaje de MOE dinámico perdieron fueron *C. elaeagnoides* (14.4%) y *D. granadillo* (15.3%) (grupo “f”) en los diferentes suelos (Figura. 10, Figura. 11, Figura. 12, respectivamente). Las especies que se pueden considerar con pérdida mediana fueron: *S. humillis* (21.2%) y *T. donell-smithii* (32.2%). El resto de las especies su disminución rebasó el 50% del MOE dinámico inicial; *H. polyandra* (51.9%), *T. rosea* (54.5%), *E. cyclocarpum* (61.5%) y la especie *F. sylvatica* (70%) (Figura. 10, Figura. 11, Figura. 12, respectivamente).

Figura. 10 Pérdida de masa y MOE dinámico obtenida en el suelo Arenoso (Morelia).



Efecto de los suelos

En cuanto el efecto que tuvieron los tres suelos en el deterioro de la madera medido por el método dinámico se obtuvo que el suelo franco arcillo-arenoso (Actopan) ocasionó el mayor deterioro con un promedio de 20.2% de masa y 35.4% de MOE dinámico seguido del suelo arcillo-limoso (Linares) 16.6% y un 28.0%, siendo el suelo arenoso (Morelia) que causó el menor deterioro de masa (12.7%) y MOE dinámico (24.7%) (Figura. 10, Figura. 11, Figura. 12, respectivamente).

Figura. 11 Pérdida de masa y MOE dinámico obtenidos del suelo Arcilloso-limoso (Linares).

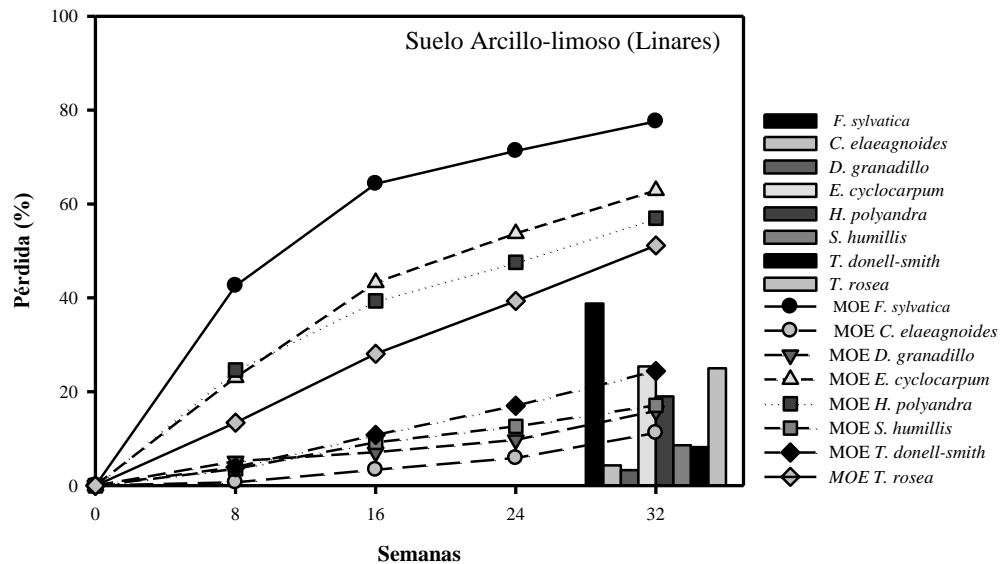
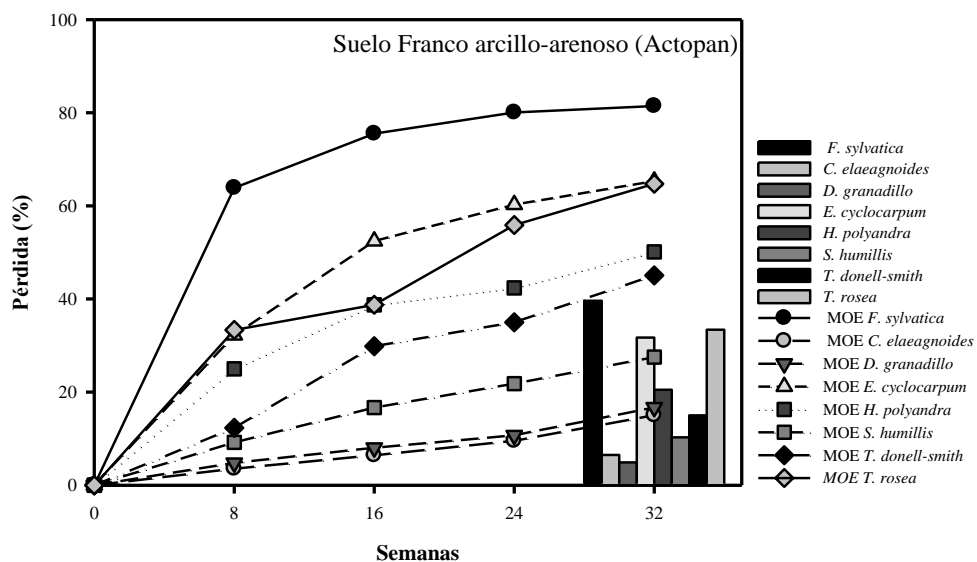


Figura. 12 Pérdida de masa y MOE dinámico obtenido en el suelo Arcillo-arenoso (Actopan).



Con un pH (7.8) y materia orgánica (muy alta) (Tabla 1) el suelo franco arcillo-arenoso (Actopan-Veracruz) causó el mayor deterioro en las probetas. El máximo deterioro fue reportado también por Gersonde y Kerner (1984) en suelos con pH de 5.5-5.8 y contenido de materia orgánica de entre 5.8%-10% (alta). La velocidad con la que una madera puede ser degradada a

través de un sistema de microcosmos terrestre estará en función de las características físicas y químicas del suelo utilizado para la prueba (Bravery, 1975; Gersonde y Kerner, 1984; Leightley y Russell, 1980). Sin embargo, establecieron que no se muestra una correlación bien definida entre la cantidad de materia orgánica y el pH. Se ha declarado que el uso de suelos en experimentos de deterioro de madera representan un complejo sistema en el que es difícil considerar un aspecto en particular ya que existen combinaciones de las características de los suelos que actúan y reaccionan entre sí lo que marca la forma en que la pudrición se llevara a cabo. Mientras que Savory (1955) señala una relación directa entre la cantidad de materia orgánica presente en los suelos y la pudrición de la madera, donde la pérdida de masa es inversamente proporcional a la cantidad de materia orgánica, nitrógeno y aireación de los suelos factores que también afectan la degradación.

CONCLUSIONES

La utilización de la norma EN 807 para determinar degradación de la madera en suelos evaluando la pérdida masa y MOE mostró que existen diferencias significativas por efecto del tipo de suelo y entre las especies. El suelo franco-arcillo-arenoso (Actopan) fue de mayor efecto en la degradación de la madera seguido del Arcilloso-limoso (Linares) quedando el suelo Arenoso (Morelia) con los índices menores de deterioro en las maderas. Las especies que reportaron menor durabilidad (mayor pérdida de masa y MOE) fueron las especies *E. cyclocarpum* (30.4% y 74.4%), *F. sylvatica* (31% y 45.2%), y *T. rosea* (29.3% y 46.7%). Las especies medianamente resistentes de grupo de especies fueron *S. humillis* (10.2% y 28.2%) *T. donell-smithii* (10.4% y 32.5%) y *H. polyandra* (15% y 52.6%). La madera que resultó con la más alta durabilidad al ataque de los microorganismos de los suelos fueron las especies *C. elaeagnoides* (6.1% y 29.4%) y *D. granadillo* (6% y 11.1%). En el caso del MOE-dinámico los resultados mostraron que en un orden de mayor a menor durabilidad (pérdida de masa y MOE dinámico) las especies se ordenaron como *C. elaeagnoides* (4.8% y 14.4%) y *D. granadillo* (5.3% y 15.3%) como las de mayor durabilidad seguidas de *S. humillis* (9.7% y 21.2%) y *T. donell-smithii* (9.9% y 32.2%) quedando las especies de baja durabilidad, *H. polyandra* (18.8% y 51.9%), *T. rosea* (25.8% y 54.5%), *E. cyclocarpum* (27.7% y 61.5%) y la especie testigo *F. sylvatica* (30.9 y 70%).

LITERATURA CITADA

- Bravery, A. F. (1975). Micromorphology of Decay in Preservative Treated Wood. In "Biological Transformation of Wood by Microorganisms" (W. Liese, ed.), pp. 129-142. Springer Berlin Heidelberg.
- Brischke, C., Welzbacher, C. R., Rapp, A. O., Augusta, U., and Brandt, K. (2009). Comparative studies on the in-ground and above-ground durability of European oak heartwood (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.). *European Journal of Wood and Wood Products* 67, 329-338.
- Charifo, A. A., Uetimane, E. J., U. Råberg, and Terziev, N. (2011). Comparative natural durability of five wood species from Mozambique. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65, 768-776.
- EN-807 (1993). Wood preservatives e Determination of the toxic effectiveness against soft rotting micro-fungi other soil inhabiting micro-organisms. In " European Committee for Standardization (CEN)", Vol. 807, Brussels, Belgium.
- Fakopp (2011). Analyzer MOE and G determination. Vol. 2012, <http://fakopp.com/site>.
- García, E. y. C. N. p. e. C. y. U. d. I. B. C. (1998). Climas (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1,000,000. México.
- Gersonde, M., and Kerner, W. (1984). Gersonde, M., & Kerner, W. (1984). Soft rot test with soils of different origins. (IRG/WP/2226). *The International research group on wood preservation. Stockholm Swedem.*
- Hardie, K. (1980). A Review of Strength Testing as a Measure of Biodeterioration of Wood and Wood Based Materials. *International Biodeterioration Bulletin* 16, 41-56.
- Leightley, L. E., and Russell, W. I. (1980). Soft rot decay of *Eucalytus maculata* Hook. in different soils from Queensland, Australia. IRG/WP/1113. *The International research group on wood preservation. Stockholm Swedem.*
- Liese, W. (1955). On the decomposition of the cell wall by micro-organisms. *Rec Br Wood Preserv Assoc.*, 159–160.
- Machek, L., Derksen, A. M., and Sierra-Alvarez, R. (1997). Assessment of wood decay in small-scale unsterile soil-bed tests. *The International research group on wood preservation. IRG/WP 97-20111, Vancouver, Canada.*
- Machek, L., Militz, H., and Sierra-Alvarez, R. (2001). The use of an acoustic technique to assess wood, decay in laboratory soil-test. *Wood Science and Technology* 34, 467-472.–

- Nami, S., Brischke, C., Rapp, A. O., and Imamura, Y. (2005). Biological effectiveness of didecyl dimethyl ammonium tetrafluoroborate (DBF) against basidiomycetes following preconditioning in soil bed tests. *Wood Science and Technology* 40, 63-71.
- NOM-021-RECNAT-2000 (2000). (Norma Oficial Mexicana). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. pp. 73. Diario Oficial de la Federación.
- OIMT, O. I. d. I. M. T. (2012). Reseña anual y evaluación de la situación mundial de las maderas. *Organización Internacional de las maderas tropicales, Yokohama*.
- Ross, R. J., and Pellerin, R. F. (1991). Non-Destructive Testing for Assessing Wood Members in Structure. *Forest Products Laboratory FPL-GTR 70*.
- Savory, J. G. (1955). The role of microfungi in the decomposition of wood. *BWPA Conv.Rec* 5, 3-35.
- Schmidt, O. (2006). "Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use," Springer Berlin Heidelberg.
- SEMARNAT (2014). Anuario Estadístico de la Producción Forestal *Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF*.
- Taylor, A. B., Gartner, and Morrell, J. (2003). Environmental effects on heartwood extractive content and their consequences for natural durability in Douglas-fir and Western Redcedar, Oregon State University, Corvallis, OR.
- Walkley, A., and Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci* 37, 29-37.

CAPÍTULO IV

DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE OCHO ESPECIES TROPICALES EXPUESTA A TRES SITIOS

Colín-Urieta, S^{1*}, Carrillo-Parra^{1*}, A. Rutiaga, J.G², González-Rodríguez, H¹, Jurado-Ybarra, E¹. Aguirre-Calderón, O.A..¹

1 Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Facultad de Ciencias Forestales, Carr. Nal. No. 85, Km 145. C.P. 66700, Apartado Postal 41. Linares, Nuevo León, México

2 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Apartado Postal 580, C.P. 58000 Morelia, Michoacán, México

JUNIO 2014

RESUMEN

La elección de una madera depende de requisitos específicos como el uso final al que va ser utilizada, tiempo de servicio deseado. La interacción madera-suelo es uno de los medios más hostiles donde la madera puede ser expuesta, esta condición permite evaluar la efectividad de los tratamientos de preservación y medir la durabilidad natural de la madera. La madera del duramen de ocho especies tropicales fue habilitada de acuerdo a la Norma Europea EN 252 en estacas de 25x50x500 mm³, las cuales fueron colocadas en tres sitios (Veracruz, Michoacán y Nuevo León) con diferentes características climáticas, de altitud, biodiversidad y tipo de suelo. En la primera evaluación a los 12 meses se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.0001$) en los rangos de degradación entre las especies y sitios utilizados. Las especies *Dalbergia granadillo* Pittier, *Cordia elaeagnoides* DC, y *Swietenia humilis* Zucc se clasificaron como Muy durables (rango 1), mientras que las especies *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, y *Hura polyandra* Bailll se clasificaron como Poco durables (rango 4), mientras que las especies *Tabebuia donell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC fueron clasificadas como No durables (rango 5), de acuerdo a lo contemplado en la Norma Europea EN 350-1 (1994).

Palabras clave: Especies tropicales, EN 252, Durabilidad,

INTRODUCCIÓN

La durabilidad de la madera es la propiedad inherente de resistir el deterioro ocasionado por organismos y el medio ambiente. Se considera que la durabilidad depende de la capacidad de la madera para mantenerse en un bajo nivel de contenido de humedad así como la cantidad y tipo de sustancias químicas (FLÆTE et al., 2008; Öqvist, 1988). En forma general, se puede describir el proceso de degradación como una interacción compleja entre la madera, microorganismos, clima y contenido de humedad, tiempo de exposición, medio ambiente, radiación, temperatura y tipo de tratamiento.

Según investigaciones realizadas por Rahman y Chattopadhyay (2007) y Schmidt (2006) se ha determinado que el grado de pudrición que presenta una especie de madera en contacto con el suelo es el resultado de la relación de su durabilidad natural con las condiciones climáticas, y composición del suelo como textura, cantidad de materia orgánica, pH, nutrientes, microorganismos, humedad y grado de aireación. Por las variables antes señaladas, se considera que el uso de cementerios de madera es la forma más real y confiable para realizar predicciones de la vida útil de la madera en servicio aún y cuyo en este tipo de pruebas sean costosos y se requieran períodos largos de tiempo (Larsson-Brelid et al., 2011).

La madera al estar expuesta al suelo inicia una serie gradual de cambios, el color se modifica inducido por la radiación solar y las lluvias. La humedad tienen dos efectos, por una parte disminuye su durabilidad al lixiviar extractivos biosidas, mientras que por otro lado aumentan la cantidad de agua en las cavidades de las células (< 30% de C.H.) ocasionando que una vasta variedad de microorganismos ataquen los principales constituyentes de la madera como la hemicelulosa, celulosa y lignina. Los hongos xilófagos son los organismos degradadores de la madera más importantes debido a que ocasionan pérdidas millonarias en todo el mundo. (Schmidt, 2006). El grado de pudrición de la madera de una especie determinada puede variar entre sitios (Ali et al., 2011; Brischke y Rapp, 2008a; Jebrane et al., 2014; Wakeling, 2006). Por lo que se recomienda hacer evaluaciones en diferentes sitios para exponer a las maderas al mayor número

de agentes que la deterioran (Edlund et al., 2006), esto ha permitido ubicar sitios con mayor impacto en la prueba de tratamientos y durabilidad de las maderas.

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) evaluar el efecto de tres tipos de suelo y condiciones de clima sobre la durabilidad natural de la madera de las especies tropicales *Cordia elaeagnoides* DC, *Dalbergia granadillo* Pittier, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *Hura polyandra* Baill, *Swietenia humilis* Zucc, *Tabebuia donell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC y *Fagus silvatica* L (especie control). 2) Establecer una clasificación de durabilidad de las especies de madera estudiadas, y 3) Determinar la clase de riesgo a la que pueden ser sometidas las especies ensayadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de exposición

Los tres sitios (cementorios) para colocar las estacas de madera fueron seleccionados considerando diferencias en clima, suelo y altitud, que no presentaran antecedentes de cultivo ni tratamientos químicos y que se asegurara que las estacas permanecieran sin perturbaciones durante todo el experimento. El primer cementorio de maderas fue ubicado en el Centro de Investigaciones Costeras la Mancha” (CICOLMA) perteneciente al Instituto Nacional de Ecología (INECOL) en el municipio de Actopan, Veracruz, localizado a los 19° 30' N y 96° 22' O a una altitud de 50 msnm, el clima según García (1998) se reporta como Aw1 (100%) Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C, precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

El segundo sitio fue el campus de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León en municipio de Linares, Nuevo León, localizado en 24° 47' N y 99° 32' O, a una altitud de 384 msnm. El clima de acuerdo a Köppen, modificado por García (1998) es clasificado como semiárido y subhúmedo (A) C (Wo) con dos períodos de lluvia (verano y

otoño). El tercer sitio fue ubicado en los terrenos de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), municipio Morelia, Michoacán en 19°39' N y 103° 13' O con una altitud de 1977msnm. El clima según (García, 1998) es C(w1), templado con humedad media se registran lluvias en verano que oscilan entre 700 y 1000 mm de precipitación promedio anual y también lluvias invernales con 5 mm anuales de precipitación promedio.

Análisis de los suelos

Los suelos de los tres sitios fueron analizados para determinar el pH, conductividad eléctrica, textura siguiendo la norma NOM-021-RECNAT-2000, la cantidad de materia orgánica y carbono orgánico se determinó con el método modificado de Walkley y Black (1934), los resultados se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Análisis de los suelos colectados en los cementerios de maderas de las localidades de Veracruz, Michoacán y Nuevo León, México.

Característica	Cementerios de maderas		
	Actopan, Veracruz	Morelia, Michoacán	Linares, Nuevo León
Localidad	La Mancha INECOL	Facultad de Biología UMSNH	Facultad de Ciencias Forestales UANL
¹ pH del Suelo	7.8	5.3	7.8
Conductividad Eléctrica [μS/cm]	398.7	183.7	342.3
² Materia orgánica [%]	3.4381	2.6054	3.259
² Carbono orgánico [%]	1.9942	1.5113	1.8904
Arena [%]	50.6	86.6	12.6
¹ Textura Limo [%]	26.4	8.4	40.4
Arcilla [%]	23.1	5.1	47.1
¹ Clasificación	Franco arcillosa- arenosa	Arenoso	Arcillo-limoso

¹NOM-021-RECNAT-2000, ²Walkley-Black,

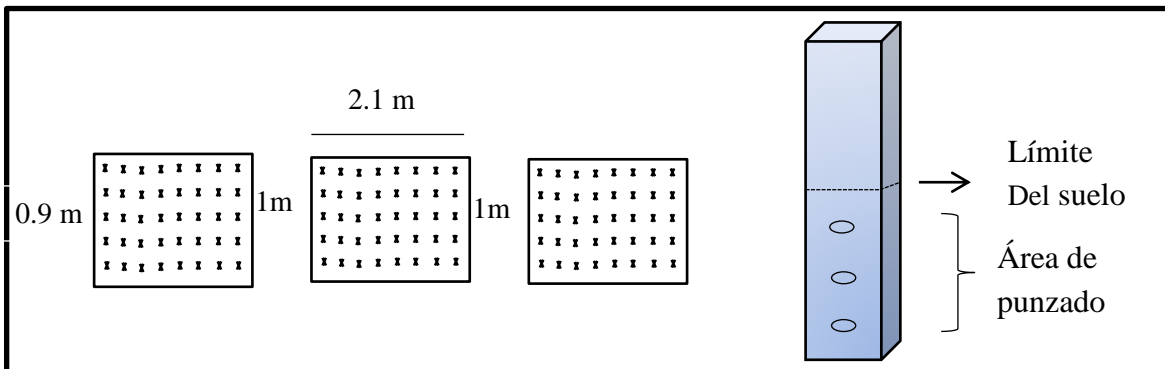
Habilitación de las probetas

La metodología empleada para determinar la resistencia de la madera en contacto con el suelo fue la descrita en la Norma Europea EN 252 (1989) y conocida como prueba de campo para determinar la protección efectiva de los preservadores de madera en contacto con el suelo. La madera de duramen libre de daños y defectos de las especies *Cordia elaeagnoides* DC, *Dalbergia granadillo* Pittier, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *Hura polyandra* Baill, *Swietenia humilis* Zucc, *Tabebuia donell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC, y *Fagus sylvatica* L. fueron habilitadas a las dimensiones 25x50x500 mm³ (Ancho x Grueso x Largo). El total de las probetas (45 probetas por especie) fueron colocadas en una cámara de acondicionamiento de humedad (65% Humedad relativa) y temperatura (20°) controlada para homogenizarlas a un 12%.

Instalación de las probetas

En cada sitio se instalaron tres parcelas de 210x90 cm² (Figura 1), cinco estacas de cada especie fueron colocadas al azar en cada parcela. Las estacas fueron enterradas verticalmente a 250mm de su longitud y una separación de 300mm entre estacas. En total se colocaron 120 estacas en cada sitio.

Figura 1 Croquis del sitio de maderas y áreas de punzado de la estaca



Clasificación del deterioro

La durabilidad natural de la madera contra los efectos de los agentes bióticos (hongos e insectos) y abióticos (humedad y suelo) debido a la exposición en los tres sitios fue evaluada después de 12 meses de la instalación de las probetas. El procedimiento de evaluación consistió en extraer las probetas cuidadosamente del suelo, considerando solo una de las caras (parte ancha) a tres alturas

(alta, media y baja) de cada probeta como se indica en la Figura 1 Se asignó un valor de deterioro por la suma de dos procedimientos: el primero es la evaluación visual que asigna valores de 0 al 4 según el nivel de daño establecido en la Norma Europea EN-252 (1989) (Tabla 12) y la prueba de punzado, que consiste en insertar la navaja en un agudo y posteriormente es doblada hacia atrás para permitir extraer una pequeña astilla de la superficie de la madera, en seguida se analiza la forma en que se comportaron las fibras retiradas. La profundidad de penetración de la navaja y la facilidad del desgajamiento de la astilla indica el nivel de pudrición, la ruptura de la astilla indica una madera sana.

Tabla 12 Clasificación de la degradación en las estacas en contacto con suelo de acuerdo a la Norma Europea EN 252.

Rango	Definición de la condición.	Máxima profundidad deteriorada	Área mínima de la sección transversal	
		[mm]	[mm ²]	[%]
0 Ningún ataque	Ninguna evidencia de deterioro, ablandamiento o debilitamiento causada por microorganismos.	0	1250	100
1 Ligero ataque	Poca evidencia de deterioro, no significativa ablandamiento o debilitamiento hasta cierta profundidad.	1	1104	88
2 Moderado ataque	Evidencia significativa de deterioro, con áreas deterioradas (madera ablandamiento o débil) hasta cierta profundidad.	3	836	67
3 Severo ataque	Deterioro, ablandamiento y debilitamiento amplio, deterioro típico por hongos en grandes áreas hasta cierta profundidad.	5	600	48
4 Falla	Probetas se fracturan después de una prueba de flexión.	50	0	0

Clasificación de la durabilidad

El tipo de durabilidad de la madera se determinó según la Norma Europea EN-350-1 (1994)₂ (Tabla 13), que consiste en comparar los valores de deterioro que obtuvieron la madera de la especie control (*F. sylvatica*) con la madera de la especie que se desea evaluar (Ecuación 4).

Tabla 13 Clasificación de la durabilidad de acuerdo a la Norma Europea EN 350-1 sobre las estacas colocadas en contacto con el suelo.

Clasificación de la durabilidad	Descripción	x-valor
1	Muy durable	$x > 5$
2	Durable	$3 < x \leq 5$
3	Moderadamente durable	$2 < x \leq 3$
4	Menos durable	$1.2 < x \leq 2$
5	No durable	$x \leq 1.2$

Los valores de x se determina relacionado la vida promedio útil de la especie de madera evaluada con la vida promedio útil de la especie de referencia (*F. sylvatica*).

Ecuación 4

$$x = \frac{\text{Vida útil promedio de la madera evaluada}}{\text{Vida útil promedio de la madera de referencia}(F. sylvatica)}$$

Análisis estadístico

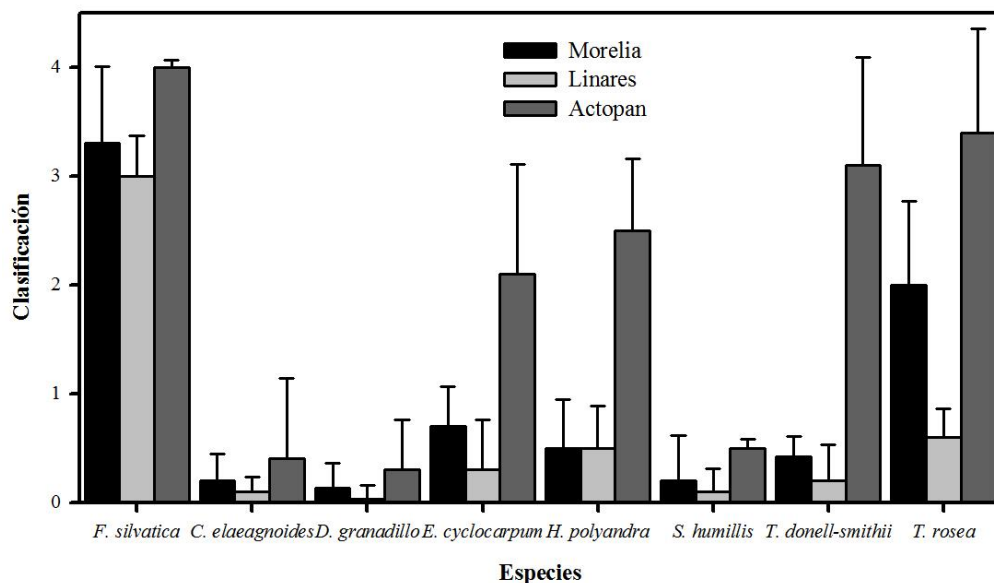
Los resultados de la clasificación de la degradación del fueron sometidos al análisis de varianza teniendo como factores las especies y los sitios. La comparación de medias entre los factores se realizó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los análisis se llevaron mediante el paquete estadístico SPSS® versión 20.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación visual y prueba de punzado

La combinación de la evaluación visual establecida en la norma EN-252 y la prueba de punzado permite determinar el valor de deterioro que presenta la madera por ser métodos confiables que miden la dureza y son sensibles a la pudrición en etapas tempranas (Wilcox, 1983) (Morrell et al., 1986). Los resultados muestran que en el sitio ubicado en el municipio de Morelia los mayores valores de deterioro fueron registrados por la madera de las especies *F. sylvatica* (3.2) y *T. rosea* (1.7). Las especies *D. granadillo*, *C. elaeagnoides*, *S. humillis*, *T. donell-smithii*, *H. polyandra*, *E. cyclocarpum*, se clasificaron con niveles de deterioro bajos (0.1 hasta 0.7) (Figura 2).

Figura 2 Clasificación del ataque biológico de acuerdo a la norma EN 252 de las especies en los tres sitios de exposición.



Las estacas de las especies instaladas en el municipio de Linares que presentaron el mayor daño fueron *F. sylvatica* (2.9), seguida por las especies *T. rosea* (0.6) y *H. polyandra* (0.5), las especies que tuvieron los menores valores fueron *D. granadillo*, *C. elaeagnoides*, *S. humillis*, *T. donell-smithii*, *E. cyclocarpum* (Figura 2).

Las especies de madera colocadas en el municipio de Actopan que presentaron mayor valor de deterioro fueron Las especies *F. sylvatica* (4.0), *T. rosea* (3.4) *T. donell-smithii* (3.1), *H. polyandra* (2.4) y *E. cyclocarpum* (2.1), mientras que las especies *D. granadillo* (0.3), *C. elaeagnoides* (0.4), *S. humillis* (0.5) tuvieron los menores valores de deterioro (Figura 2). Los valores de deterioro fue diferente estadísticamente ($p < 0.05$) entre especies y entre sitios después de doce meses de iniciado el experimento según se puede apreciar en la Tabla 14. De manera evidente la pérdida de durabilidad determinada como el proceso de pudrición fue más acelerado en el sitio de Actopan (CICOLMA) en Veracruz.

La combinación de un clima cálido subhúmedo con un suelo de textura franco arcillosa-arenosa y un pH de 7.8 permitió el ambiente más conspicuo donde la madera mantiene las condiciones de humedad y temperatura favorables para su deterioro por lo que se considera que hay más actividad de los microorganismos que puede incrementar el deterioro en comparación con los otros dos sitios (Ali et al., 2011; Cuffré et al., 2010; Jebrane et al., 2014)_explican que la diferencia entre sitios puede ser resultado a la alta capacidad de retención de agua del suelo, un pH casi neutro y la presencia de hongos de pudrición suave y bacterias. En forma general de acuerdo con Wakeling (2006) los sitios secos (de baja humedad) provocan bajos índices de biodeterioro como ocurrió en el sitio Linares de este experimento.

Los resultados de las pruebas de Tukey entre sitios mostraron tres grupos estadísticos mientras que entre las especies se encontraron cuatro grupos estadísticos (Tabla 15 y Tabla 16).

Tabla 14 Resultado del ANOVA de la variable de respuesta clasificación del daño biológico de las maderas.

Fuente de variación	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	.015 ^a	23	.001	61.352	.000
Intersección	878.834	1	878.834	82864112.02	.000
Especie	.010	7	.001	135.364	.000
Sitio	.003	2	.002	160.669	.000
Especie * Sitio	.001	14	.000	9.839	.000
Error	.004	336	1.061E-005		
Total	879.197	360			
Total corregida	.019	359			

R cuadrado = .808 (R cuadrado corregida = .795)_a

Tabla 15 Prueba de Tukey para el factor de sitios

Sitios	Grupos	Media
Linares, Nuevo León	a	0.5645
Morelia, Michoacán	b	0.9042
Actopan, Veracruz	c	2.0336

Tabla 16 Prueba de Tukey entre el factor especies.

Especies	Clasificación	
	Grupos	Media
<i>D. granadillo</i>	d	0.1444
<i>C. elaeagnoides</i>	d	0.1889
<i>S. humillis</i>	d	0.2911
<i>E. cyclocarpum</i>	c	1.0067
<i>T. donell-smithii</i>	c	1.1289
<i>H. polyandra</i>	c	1.2356
<i>T. rosea</i>	b	1.9422
<i>F. sylvatica</i>	a	3.3689

El deterioro de las estacas fue causado en su mayoría por el ataque de hongos al presentar pocas galeras superficiales característica típica del ataque por insectos. Estudios realizados para determinar el tipo de hongo señalan que en su gran mayoría son aquellos que producen pudrición suave (Brischke et al., 2014; Brischke et al., 2013; Brischke y Rapp, 2008a; Edlund y Nilsson, 1998; Jebrane et al., 2014; Nilsson y Daniel, 1990; Schmidt, 2006; Wakeling, 1992)

Los diferentes grados de ataque biológico entre sitios es evidente, el establecimiento y evolución tanto en la superficie como dentro de ella madera de los hongos xilófagos es favorecido por el medio en que se desarrollan (lluvias, temperatura y la humedad relativa) (Råberg et al., 2005). Los rangos de pudrición estarán fuertemente influenciados por el contenido de humedad y la temperatura (Brischke y Rapp, 2008b). Tal y como lo establecieron Deacon (1997), Meyer et al. (2012) y Jebrane et al. (2014), la madera expuesta en diferentes ambientes está sujeta a diferentes grados de descomposición esto mismo se pudo comprobar en los tres sitios seleccionados. De forma amplia, esto podría ser atribuida a los efectos de la temperatura, la disponibilidad de agua, el tipo de suelo, la vegetación y tipo de materia orgánica en la superficie (Brischke et al., 2011; Cuffré et al., 2010; Wakeling, 2006)

Clasificación de la durabilidad

La clase de durabilidad que alcanzarán las especies se infiere con la clasificación de la especie de referencia (*F. sylvatica*), que se obtiene con el cociente de los valores promedios de vida de ambas especies y que será similar al valor de la relación entre los valores medios de los rangos de deterioro obtenidos en la evaluación (Figura 2). En base a la norma EN 350-1 (1994), se clasificó la durabilidad de las especies en base a la vida útil promedio de las especies. La Tabla 17 muestra el tipo de durabilidad de las de las especies por sitio.

Tabla 17 Clasificación de durabilidad de las maderas por sitio de exposición de acuerdo con la norma EN 350-1.

Especie	Morelia, Michoacán		Linares, Nuevo León		Actopan, Veracruz	
	x-valor	Descripción	x-valor	Descripción	x-valor	Descripción
<i>C. elaeagnoides</i>	19.3	Muy durable	86.0	Muy durable	10.8	Muy durable
<i>D. granadillo</i>	24.1	Muy durable	86.0	Muy durable	14.9	Muy durable
<i>E. cyclocarpum</i>	4.8	Durable	10.8	Muy durable	1.9	Menos durable
<i>H. polyandra</i>	7	Muy durable	5.7	Muy durable	1.6	Menos durable
<i>S. humillis</i>	13.8	Muy durable	28.7	Muy durable	7.9	Muy durable
<i>T. donell-smithii</i>	7.5	Muy durable	18.7	Muy durable	1.3	No durable
<i>T. rosea</i>	1.9	Menos durable	5.1	Muy durable	1.2	No durable

Clase de riesgo

De acuerdo con la clasificación de durabilidad la madera se clasificó para su uso en base a la norma europea EN 460 (Tabla 18).

Tabla 18 Selección del uso de madera en base a su clase de durabilidad natural EN 460.

Clase de riesgo	Clase de durabilidad				
	1	2	3	4	5
1 No en contacto con el suelo bajo cubierta (ambiente seco)	0	0	0	0	0
2 No en contacto con el suelo bajo cubierta (ambiente húmedo)	0	0	0	(0)	(0)
3 No en contacto con el suelo. A la intemperie	0	0	(0)	(0)-(x)	(0)-(x)
4 En contacto con el suelo o agua dulce	0	(0)	(x)	x	x
5 Contacto con el agua de mar	0	(x)	(x)	x	x

0: durabilidad natural, x: tratamiento necesario, (0), (0)-(x) y (x) situaciones intermedias tratamientos recomendables con importancia creciente desde (0) a (x).

CONCLUSIONES

Los resultados de durabilidad natural de la madera de ocho especies tropicales expuestas por un año a tres sitios mostraron que existen diferencias significativas entre sitios y entre especies. El sitio ubicado en el municipio de Actopan, Veracruz fue lugar que presentó la más alta actividad de degradación. Las especies *Dalbergia granadillo* Pittier, *Cordia elaeagnoides* DC, y *Swietenia humillis* Zucc se clasificaron como Muy durables (rango 1), mientras que las especies *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, y *Hura polyandra* se clasificaron como Poco durables (rango 4), mientras que las especies *Tabebuia donell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC fueron clasificadas como No durables (rango 5), de acuerdo a la clasificación de las normas europeas. Se encontró que el sitio puede influenciar significativamente en el nivel de deterioro de la madera y debe ser considerado para las estimaciones de vida en servicio de las maderas a utilizar.

LITERATURA CITADA

- Ali, A. C., Uetimane Júnior, E., Råberg, U., y Terziev, N. (2011). Comparative natural durability of five wood species from Mozambique. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65, 768-776.
- Brischke, C., Meyer, L., y Olberding, S. (2014). Durability of wood exposed in ground e Comparative field trials with different soil substrates. *International Biodeterioration & Biodegradation* 86, 108-114.
- Brischke, C., Olberding, S., Meyer, L., Bornemann, T., y Welzbacher, C. R. (2013). Intrasite variability of fungal decay on wood exposed in ground contact. *International Journal of Wood Products* 37-44.
- Brischke, C., y Rapp, A. O. (2008a). Dose-response relationships between wood moisture content, wood temperature y fungal decay determined for 23 European field test sites *Wood Sci Technol* 42, 507-518.
- Brischke, C., y Rapp, A. O. (2008b). Influence of wood moisture content y wood temperature on fungal decay in the field: observations in different micro-climates. *Wood Sci Technol* 42, 663-677.

- Brischke, C., Welzbacher, C. R., Meyer, L., Bornemann, T., Larsson-Brelid, P., Pilgård, A., Hansson, E. F., Westin, M., Rapp, A. O., Thelyersson, S., y Jermer, J. (2011). Service life prediction of wooden components – Part 3: Approaching a comprehensive test methodology. *IRG/WP 11-20464. The International Research Group On Wood Protection, Stockholm.*
- Cuffré, A. G., Calvo, C. F., Genovese, F. V., Dorado, M. L., y Piter, J. C. (2010). Caracterización de la durabilidad natural de la madera de Eucalyptus gris de Argentina para su utilización en construcciones. *VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras (CINPAR 2010) (Libro de resúmenes ISBN 978-987-25855-2-5).*
- Deacon, J. W. (1997). Modern mycology. *Blackwell, Oxford*, p 303.
- Edlund, M.-L., Evans, F. G., Henriksen, K., y Nilsson, T. (2006). Testing durability of treated wood according to EN 252, Interpretation of data from Nordic test fields. *IRG/WP/06e20341. International Research Group on Wood Protection, Stockholm.*
- Edlund, M. L., y Nilsson, T. (1998). Testing the durability of wood. *Materials y Structures* 31, 641-647.
- EN-252, C. (1989). Field Test Method for Determining the Relative Protective Effectiveness of a Wood Preservative in Ground Contact. In " EN", Vol. 252. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- EN-350-1, C. (1994). Durability of Wood y Wood-based Products e Natural Durability of Solid Wood e Part 1: Guide to the Principles of testing y Classification of the Natural Durability of Wood. . Vol. 350. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Flæte, O., Alfredsen, G., y Evans, F. (2008). Comparison of four methods for natural durability classification after 2.5 years. *Proligno* 4.
- García, E. y. C. N. p. e. C. y. U. d. l. B. C. (1998). Climas (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1,000,000. México.
- Jebrane, M., Pockryt, M., y Terziev, N. (2014). Natural durability of selected larch y Scots pine heartwoods in laboratory y field tests. *International Biodeterioration & Biodegradation* 91, 88-96.
- Larsson-Brelid, P., Brischke, C., Rapp, A. O., Hansson, M., Westin, M., Jermer, J., y Pilgård, A. (2011). Methods of field data evaluation - time versus reliability. *IRG/WP 11-20466. The International Research Group On Wood Protection, Stockholm.*
- Meyer, L., Brischke, C., y Pilgård, A. (2012). Moisture performance based wood durability testing. *RG/WP 12-20495. The International Research Group On Wood Protection, Stockholm.*

- Morrell, J., SM, S., MA, N., y RD, G. (1986). Reducing internal y external decay of untreated Douglas-fir poles – a fieldtest. *Forest Prod J* 36, 47–52.
- Nilsson, T., y Daniel, G. (1990). Decay Types Observed in Small Stakes of Pine y Alstonia Scholaris Inserted in Different Types of Unsterile Soil. IRG/WP/1443. *International Research Group on Wood Protection, Stockholm*.
- Öqvist, H. (1988). The durability of outdoor wood, field test: woodpanels exposure out of ground contact. *Department of Forest Products, Uppsala, Sweden*, 38.
- Råberg, U., Edlund, M.-L., Terziev, N., y Ly, C. J. (2005). Testing y evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe – an overview. *J Wood Sci* 51, 429-440.
- Rahman, A., y Chattopadhyay, G. (2007). Soil Factors Behind Inground Decay of Timber Poles: Testing y interpretation of Results. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY* 22.
- Schmidt, O. (2006). "Wood y Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, y Use," Springer Berlin Heidelberg.
- Wakeling, R. N. (1992). A Study of the Decay Type Potential of Seven Soils. IRG/WP92e1532. . *International Research Group on Wood Protection, Stockholm*.
- Wakeling, R. N. (2006). Is Field Test Data from 20 x 20mm Stakes Reliable? Effects of Decay Hazard, Decay Type y Preservative Depletion Hazard. IRG/WP 06-20327. *International Research Group on Wood Protection, Stockholm*.
- Walkley, A., y Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter y a proposed modification of the chromic acid titration method. . *Soil Sci.* 37, 29-37.
- Wilcox, W. (1983). Sensitivity of the “pick test” for field detection of early wood decay. *Forest Prod J* 33, 29-30.

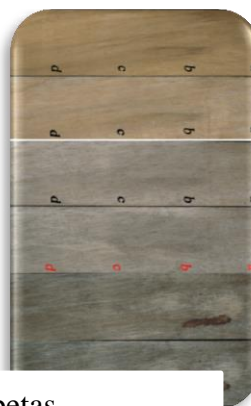
ANEXO

CAPITULO II

NATURAL WETHERING OF EIGHT IMPORTANT TIMBER TRADE MEXICAN SPECIES



Anaqueles de intemperización



Escaneo de las probetas

CAPITULO III:

EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE OCHO ESPECIES TROPICALES EXPUESTAS A LA DEGRADACIÓN DE TRES TIPOS DE SUELO EN CONDICIONES DE LABORATORIO

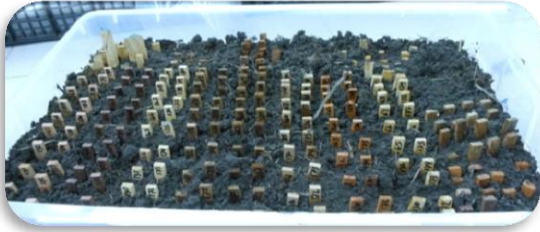


Contenedores con los tres tipos de suelos.



Probetas de madera

EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE OCHO ESPECIES TROPICALES EXPUESTAS A LA DEGRADACIÓN DE TRES TIPOS DE SUELO EN CONDICIONES DE LABORATORIO



Contenedor con probetas instaladas.



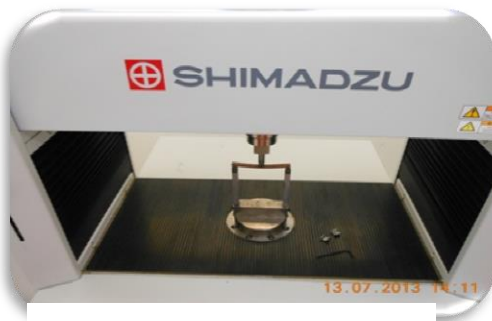
Saturación de agua de las probetas por vacío.



Evaluación de las probetas



Probeta de la madera testigo (*Fagus. sylvatica*).



Máquina Universal



Ensayo de flexión en tres puntos

CAPITULO IV

DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE OCHO ESPECIES TROPICALES EXPUESTA A TRES SITIOS.



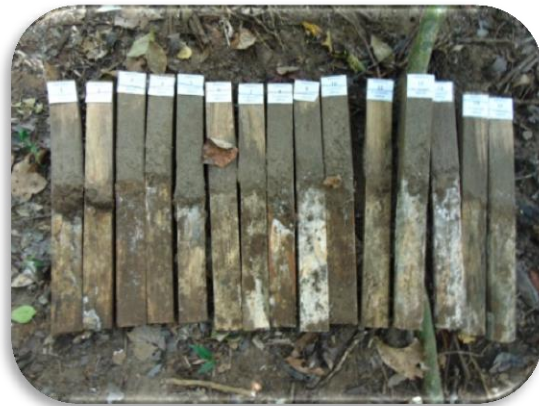
Degradación de *Fagus sylvatica* Actopan
Veracruz



Estacas instaladas en el CICOLMA Actopan
Veracruz



Sitio Morelia, Michoacán



Deterioro de las probetas



Sitio de Linares, Nuevo León



Acondicionamiento de humedad de las estacas.

DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE OCHO ESPECIES TROPICALES EXPUESTA A TRES SITIOS



Sitio CICOLMA Actopan Veracruz



Prueba de punzado



Evaluación del deterioro de las estacas



Deterioro de *Fagus. sylvatica* instalada en
Morelia, Michoacán



Estaca instalada en Linares Nuevo León



Estacas instaladas en Morelia, Michoacán